

**NANOAKIŞKANLAR İLE YÜKSEK VERİMLİ
RADYATÖR SOĞUTMANIN SAYISAL
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ersin AŞKIN

Eskişehir 2023

**NANOAKIŞKANLAR İLE YÜKSEK VERİMLİ RADYATÖR SOĞUTMANIN
SAYISAL İNCELENMESİ**

Ersin AŞKIN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Elif Begüm ELÇİOĞLU

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ersin AŞKIN'ın NANOAKIŞKANLAR İLE YÜKSEK VERİMLİ RADYATÖR SOĞUTMANIN SAYISAL İNCELENMESİ başlıklı çalışması 23/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Doç. Dr. Elif Begüm ELÇİOĞLU

Üye

: Prof. Dr. Emin AÇIKKALP

Üye

: Prof. Dr. Alpaslan TURGUT

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

23/06/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Ersin AşKIN, NANOAKIşKANLAR İLE YÜKSEK VERİMLİ RADYATÖR SOğUTMANIN SAYISAL İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Doç. Dr. Elif Begüm ELçİOğLU

ÖZET

NANOAKIŞKANLAR İLE YÜKSEK VERİMLİ RADYATÖR SOĞUTMANIN SAYISAL İNCELENMESİ

Ersin AŞKIN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2023

Danışman: Doç. Dr. Elif Begüm ELÇİOĞLU

Yüksek verimlilik her sektörün erişmek istediği bir başarı noktasıdır. Bu durum, günümüzde fosil enerji kaynaklarının azalmasıyla ve enerji krizi ile daha da önemli bir hale gelmektedir. Isı yönetimi günümüzün popüler konularındandır. Nükleer santral, çip endüstrisi ve otomotiv gibi verimin yüksek olması beklenen alanlarda soğutma performansının artırılması amaçlanmaktadır. Soğutma verimini arttırmak için soğutma yüzey alanını genişletmek ve soğutucu akışkan özelliklerini iyileştirmek uygulanabilecek iki alternatif çözümdür. Soğutucuların boyutlarını büyütmek her zaman mümkün olmamaktadır, bu sebeple soğutma performansını arttırmak için yeni nesil akışkanlar (nanoakışkanlar) kullanılabilir. Geleneksel soğutma yöntemlerinde kullanılan düşük ısı iletimine sahip su, etilen glikol gibi baz akışkanlara eklenen nanoparçacıklar sayesinde, nanoakışkanlar baz akışkanlara kıyasla iyileştirilmiş ısı transfer özelliklerine sahiptirler. Bu tezde, bir radyatör sistemi için düz tüp geometrisinde nanoakışkan ısı verimi sayısal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak, referans alınan çalışmada yer alan Al_2O_3 ve CuO nanoparçacıklarının hacimce %1-%7 konsantrasyonunun 250-1750 Reynolds sayısı aralığında analizi ANSYS Fluent kullanarak tekrarlanmış ve çözücü doğrulanmıştır. Tez çalışması ve referans çalışma arasındaki maksimum fark %1 Al_2O_3 -Su konsantrasyonunda ve 500 Re sayısında %7,6 olarak gerçekleşmiştir. Yapılan analizlerde, karbon tabanlı grafen nanoplatelet(GNP)-su nanoakışkanının düz tüp geometrisinde sıcaklığa bağlı termofiziksel özellikleriyle %0,079-%0,27 aralığında 4 farklı konsantrasyon için 250-1750 Reynolds sayılarında ısı transferi davranışı incelenmiştir ve performans katsayıları (figure of merit) hesaplanmıştır. Analiz sonucunda %0,27 GNP konsantrasyonunun baz akışkan suya göre kıyaslandığında ortalama ısı taşınım katsayısında %28,76 iyileşme elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek termal iyileştirmeler elde edilebildiği görülmüştür. Konsantrasyonun artmasıyla viskozitede yükselme gözlemlenmektedir. Viskozitenin artmasıyla sürtünme katsayıları artmakta bu da pompa gücü ihtiyacını arttırmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Nanoakışkan, Karbon Tabanlı Nanoakışkan, Grafen Nanoplatelet(GNP), Radyatör.

ABSTRACT
NUMERICAL INVESTIGATION OF HIGH EFFICIENCY RADIATOR COOLING
WITH NANOFLUIDS

Ersin AŞKIN

Department of Mechanical Engineering
Programme in Mechanical Engineering
Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2023

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Elif Begüm ELÇİOĞLU

Energy efficiency becomes more critical with the depletion of fossil energy resources. Heat management is aimed to be improved in many systems e.g., nuclear power plants, chip industry, and automotive sector. To increase the cooling efficiency, the two main solutions are increasing cooling surface area and improving fluid characteristics. However, it is not always possible to increase the dimensions of the coolers. New generation fluids (nanofluids) can be used to improve cooling performance. Thanks to the nanoparticles added to base fluids e.g., water, which have low thermal conductivities, nanofluids have improved heat transfer properties. In this thesis, thermal efficiency of nanofluid in flat tube geometry for a radiator system was numerically investigated. In this context, firstly, the analysis of the 1% to 7% volumetric concentrations of Al_2O_3 and CuO nanoparticles in the reference study in the range of 250-1750 Reynolds numbers was recalculated using ANSYS Fluent and solver was verified. The maximum difference between the thesis study and the reference study was 7.6% for 1% Al_2O_3 /water at a Reynolds number of 500. In this analysis performed, heat transfer behaviour was investigated for four different concentrations ranging from 0.079% to 0.27% of carbon-based graphene nanoplatelets (GNP) for laminar flow in a flat tube geometry, considering temperature-dependent thermo-physical properties and figure of merit (FOM) were calculated. As a result of the analysis, 0.27% GNP/water nanofluid in comparison to water, showed a 28.76% improvement in the average heat transfer coefficient. The study concluded that even at low concentrations, significant thermal improvements can be obtained.

Keywords: Nanofluid, Carbon-based Nanofluid, Graphene Nanoplatelet (GNP), Radiator.

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans tez sürecimde bana her konuda destek olan değerli hocam Doç. Dr. Elif Begüm ELÇİOĞLU'na ve her zaman yanımda olan değerli eşim ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ersin AŞKIN



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ersin AŞKIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Nanoakışkanların Hazırlanışı	4
2.2. Nanoakışkan Uygulamaları.....	6
3. MATERYAL VE METOT.....	12
3.1. Grafen Nano Plakale (GNP) - Su Nanoakışkanı.....	12
3.2. Korunum Denklemleri.....	14
3.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	14
3.4. Analizin Doğrulanması	15
3.4.1. Varsayımlar.....	16
3.4.2. Ağ Bağımsızlık Çalışması.....	17
3.4.3. Isı Transfer Hesaplamaları.....	18
4. SONUÇLAR.....	20
4.1. Doğrulama Sonuçları.....	20
4.2. GNP Sonuçları.....	25

4.3. Performans Katsayısı Sonuçları	32
4.3.1. c_p/c_k	33
4.3.2. Performans Geliştirme Kriteri (PEC)	34
4.3.3. Mouromtseff Sayısı Oranı.....	35
5. TARTIŞMA.....	37
6. GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	39
KAYNAKÇA	40
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Metal Oksit Tabanlı Nanoparçacıklar, Karbon Tabanlı Nanoparçacıklar ve Baz Akışkanların Özellikleri (N. Ali vd., 2021).....	5
Tablo 3.1. GNP Isıl İletkenlik Katsayısı (Iranmanesh vd., 2017).....	12
Tablo 3.2. GNP Viskozite (Iranmanesh vd., 2017).....	13
Tablo 3.3. GNP Özgül Isı (Iranmanesh vd., 2017)	13
Tablo 3.4. GNP Özellikleri (Iranmanesh vd., 2016)	13
Tablo 3.5. Nanoparçacıkların ve Baz Akışkanın Termofiziksel Özellikleri (Elsebay vd., 2016)	15
Tablo 3.6. Akış Koşulları	16
Tablo 4.1. GNP-su Nanoakışkanının Konsantrasyona Göre Özellik Değişimi ($Re=1750$, $T_{giriş}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Radyatör Performans Parametreleri	8
Şekil 3.1. Tipik Radyatörün Düz Tüplerinin Şematik Gösterimi. (Elsebay vd., 2016)'dan uyarlanmıştır.....	16
Şekil 3.2. Düz Tüp Ağ Görünümü ($N_x \times N_y \times N_z = 20 \times 24 \times 345$)	17
Şekil 3.3. Mesh Bağımsızlık Çalışması	18
Şekil 4.1. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Isı Transfer Katsayısı Değişimi	20
Şekil 4.2. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda CuO-Su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Isı Transfer Katsayısı Değişimi	21
Şekil 4.3. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Yüzey Sürtünme Katsayısı Değişimi	21
Şekil 4.4. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda CuO-Su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Yüzey Sürtünme Katsayısı Değişimi	22
Şekil 4.5. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Basınç Kaybı Değişimi	23
Şekil 4.6. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda CuO-Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Basınç Kaybı Değişimi	23
Şekil 4.7. Doğrulan Çözücüyle Elde Edilen Sonuçların(Al_2O_3) (Elsebay vd., 2016) Sonuçları İle Kıyaslanması.....	24
Şekil 4.8. Doğrulan Çözücüyle Elde Edilen Sonuçların (CuO) (Elsebay vd., 2016) Sonuçları İle Kıyaslanması.....	24
Şekil 4.9. %0,27 GNP-su Nanoakışkan Konsantrasyonunun 60°C Giriş Sıcaklığında 1750 Reynolds Sayısındaki yz Düzlemindeki Sıcaklık Dağılımı	26
Şekil 4.10. %0,27 GNP-su Nanoakışkan Konsantrasyonunun 60°C Giriş Sıcaklığında 1750 Reynolds Sayısındaki xy Düzlemindeki Giriş Düzlemi, Orta Düzlem ve Çıkış Düzleminin Sıcaklık Dağılımı	26
Şekil 4.11. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Isı Transfer Katsayısı Değişimi	27
Şekil 4.12. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Yüzey Sürtünme Katsayısı Değişimi	28

Şekil 4.13. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Basınç Kaybı	29
Şekil 4.14. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Pompa Gücü İhtiyacı	30
Şekil 4.15. GNP-su, Al ₂ O ₃ -Su ve CuO-Su Nanoakışkanlarının Hacimsel Konsantrasyonlarının Ortalama Isı Transfer Katsayısının Suya Göre Artış Oranı (Re=1750, T _{giriş} =60 °C)	31
Şekil 4.16. GNP-su, Al ₂ O ₃ -Su ve CuO-Su Nanoakışkanlarının Hacimsel Konsantrasyonlarının Suya Göre Basınç Kayıp Artışı (Re=1750, T _{giriş} =60 °C)	31
Şekil 4.17. GNP-su, Al ₂ O ₃ -Su ve CuO-Su Nanoakışkanlarının Hacimsel Konsantrasyonlarının Pompa Gücü İhtiyacının Suya Göre Artışı (Re=1750, T _{giriş} =60 °C)	32
Şekil 4.18. c _μ /c _k Oranı	33
Şekil 4.19. Performans Geliştirme Kriteri (PEC) Oranı	34
Şekil 4.20. Mouromtseff Sayısı (Mo) Oranı Değerlendirmesi	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Düz Tüp Giriş Alanı [m^2]
A_s	: Düz Tüp Yüzey (Duvar) Alanı [m^2]
c_p	: Özgül Isı [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]
D_h	: Hidrolik Çap [m]
ΔP	: Tüp Giriş ve Çıkışı Arasındaki Basınç Farkı [Pa]
h_{ort}	: Ortalama Isı Taşınım Katsayısı [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$]
k	: Isı İletim Katsayısı [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$]
Mo	: Mouromtseff Sayısı [-]
$\dot{m}$	: Kütleli Debi [$kg\ s^{-1}$]
Nu_{ort}	: Ortalama Nusselt Sayısı [-]
P_{pompa}	: Pompa Gücü [W]
P_m	: Düz Tüp Çevresi [m]
Re	: Reynolds Sayısı [-]
T_b	: Düz Tüp Giriş ve Çıkış Ortalama Sıcaklık [C]
$T_{giriş}$	: Düz Tüp Giriş Sıcaklığı [C]
$T_{çıkış}$	: Düz Tüp Çıkış Sıcaklığı [C]
T_s	: Düz Tüp Yüzey(Duvar) Sıcaklığı [C]
V	: Akış Hızı [$m\ s^{-1}$]
$\dot{V}$	: Hacimsel Debi [$m^3\ s^{-1}$]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
β	: nanotabaka kalınlığının parçacık yarıçapına oranı ($\beta = 0,1$)
μ	: Dinamik Viskozite [$kg\ m^{-1}\ s^{-1}$]
bf	: Baz Akışkan
p	: Parçacık
nf	: Nanoakışkan
ϕ	: Nanoparçacık Konsantrasyon

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber enerji ihtiyacı artmaktadır. Fosil yakıtların azalması ve çevreye verdiği zararlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışılmaktadır(http-1). Nanoteknoloji, hızlı gelişmesiyle, beraberinde getirdiği kolaylıklardan ve entegre edildiği sisteme performans bakımından katkılarından dolayı her gün daha fazla hayatımızda yer almaktadır. Nanoteknolojinin soğutma alanında en öne çıkan kullanımlarından biri nanoakışkanlar kapsamındadır. Soğutma alanında genellikle soğutucu akışkan olarak su, etilen glikol, çeşitli yağlar ve soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır. (Choi ve Eastman, 1995) tarafından isimlendirilen nanoakışkanlar; su, gliserin ve bazı yağlar gibi düşük ısı iletkenliğe sahip baz akışkanların içine nano (10-9 m) boyutta parçacıklar eklenerek elde edilen, ısı transferi özellikleri iyileştirilmiş malzemelerdir(Eastman, 1998; Eastman vd., 1997; Lee ve Choi, 1996).Isı değiştirici sistemlerin veriminin artırılmasıyla enerji tüketimi azaltılabilmektedir(Godson vd., 2010). Soğutma performansını arttırmak için soğutucu akışkanın ısı transfer özelliğini iyileştirme (ör. nanoparçacık ekleme yoluyla), soğutucu geometri yüzey alanını arttırmak, akışı türbülanslı hale getirmek gibi farklı yöntemler önerilmektedir(Maradiya vd., 2018). Yüzey alanını arttırmak her zaman mümkün olmadığından dolayı soğutucu akışkan özelliklerini iyileştirme ilk akla gelen yöntemlerdendir. Klasik sıvıların ısı iletkenlik katsayılarına kıyasla katıların ısı iletkenlik katsayıları daha yüksektir(Kakaç ve Pramuanjaroenkij, 2009). Baz akışkan içinde yer alan nanoparçacıkların miktarı arttıkça ısı transfer kabiliyeti teorik olarak artmaktadır. Diğer taraftan, nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın artan viskozitesi sebebiyle sürtünme kayıpları da artmakta, bu da ihtiyaç duyulan pompa gücünü arttırmaktadır. Konsantrasyonun artmasıyla ısı transfer oranı iyileşmesine rağmen ihtiyaç duyulan pompa gücü artacağından nanoparçacık oranı optimum seviyede olmalıdır. Bu ikilem, nanoakışkanların kullanımı planlanan sistemlerin hem ısı hem de hidrotermal analizlerinin yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu amaçla, bu tezde, (Elsebay vd., 2016)'nin düz tüp geometrisinde laminar akış koşullarında inceledikleri su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanlarının (%1-7 hacimsel konsantrasyonda) 250-1750 Reynolds sayısı aralığındaki analizleri referans çalışma olarak kabul edilmiş, akış problemi ANSYS Fluent programında tekrar modellenerek doğrulama çalışması yapılmıştır. Çalışmanın doğrulanması ve çözücünün elde edilmesinin ardından (Iranmanesh vd., 2017)'nin ağırlıkça %0,025-0,1 arasındaki farklı

konsantrasyonlarda deneysel olarak incelediği su bazlı grafen nanoplatelet nanoakışkanlarının sıcaklığa bağlı değişen termofiziksel özellikleri, bahsi geçen düz tüp geometrisinde dikkate alınarak 250-1750 Reynolds sayısı aralığındaki laminar akışta yeniden çözülmüştür. Bu çalışmanın temel amacı, sıcaklığa bağlı termofiziksel özellikler kullanarak bu temel akış geometrisinde karbon tabanlı nanoparçacıklar olan grafen nanoplatelet (GNP) içeren nanoakışkanların ısı ve hidrodinamik performansını yüksek doğrulukta incelemektir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Nanoakışkanlar otomotiv sanayii, nükleer santraller, güneş enerjisi, ısı değiştiriciler, elektronik endüstrisi başta olmak üzere pek çok sektörde kullanım potansiyeline sahiptir. Teknolojinin geliştiği her geçen gün, minyatürize bileşenlerin üretiminde kat edilen yol ile, yüksek frekans ve enerji yoğunluğunda çalışan bu bileşenlerin ısı yönetimine olan ihtiyaç artmaktadır(He vd., 2021). Soğutma yöntemlerinde genellikle su, etilen glikol ve bazı yağlar gibi düşük ısı iletimine sahip akışkanlar kullanılmaktadır. Bu akışkanların içine nano boyutta parçacıklar ilave edilerek ısı iletimi performansları arttırılabilmektedir. Literatürde nanoakışkanlarla ilgili çok sayıda deneysel ölçümler ve sayısal çözüm yöntemleri bulunmaktadır. Deneysel ölçümlerde farklı akış koşulları ve farklı konsantrasyon oranları için korelasyonlar elde edilmektedir. Sayısal yöntemlerin gelişiminde deneysel sonuçlar önem arz etmektedir.

Nanoakışkanlar katı ve sıvı faz içeren sistemler olmalarına rağmen birçok çalışmada tek fazlı akışkanlar olarak tanımlanmaktadır. (Sheikholeslami ve Ganji, 2016) nanoakışkan kullanılan soğutma sistemlerinde tek fazlı ve iki fazlı yaklaşım olmak üzere iki farklı yaklaşım olduğundan bahsetmektedir. Tek fazlı yaklaşımda malzemenin uniform olduğu ve tek bir akışkan olarak davrandığı kabulü yapılmaktadır. Bu kabul doğrultusunda parçacık ve akışkan arasında hız farkı göz ardı edilmektedir. İki fazlı yaklaşımda ise yer çekim etkisi ve parçacık ile akışkan arasındaki sürtünme ve benzeri olgulardan dolayı parçacık ve akışkan arası hız farkının sıfır olamayacağı belirtilmektedir. Tek fazlı yaklaşımda modelleme süreci daha az komplike olduğundan sonuca daha hızlı ulaşılmaktadır. Tek fazlı akış analizlerinde özgül ısı, yoğunluk, viskozite ve ısıl iletkenlik gibi özellikler baz akışkan ve nanoparçacık konsantrasyonun göre belirlenerek hesaplama yapılmaktadır. Tek fazlı çözüm yönteminde geleneksel akışta olduğu gibi problem süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kullanılarak çözülmektedir. Viskozite, nanoakışkanların ısı transferi performansı üzerinde en etkili parametrelerden biridir. (Koca vd., 2018) parçacık boyutunun viskozite üzerindeki etkisini araştıran derleme makalesi hazırlamıştır. Nanoparçacık boyutu kaynaklı viskozite değeri $\pm\%40$ oranında değişmektedir. Çalışmalarda genellikle ısıl iletkenliğinin yüksek olması ve maliyetin düşük olmasından dolayı parçacık olarak Al_2O_3 baz akışkan olarak da su kullanılmaktadır. Çoğu çalışmada parçacık boyutu 100 nm altındadır. Makaledeki grafikler değerlendirildiğinde parçacık boyutu azaldıkça viskozitenin arttığı gözlemlenmiştir. Giriş sıcaklıkları 0 – 60 °C arası değişmektedir. Klasik viskozite

modelleri nanoparçacığın viskozite üzerindeki etkisini dikkate almadığından dolayı hatalı sonuçlar alınmaktadır. Fakat bu konu üzerine çalışmalar devam etmektedir. Nanoparçacık boyutu nanoakışkanın stabilitesini ve kümelenmesini etkileyeceğinden parçacıkların düzgün bir şekilde dağılımı önem arz etmektedir. (Kakaç ve Pramuanjaroenkij, 2009) nanoakışkanların ısı transferi performansının değerlendirilmesinde ısı transferinin ve sürtünme kuvvetlerinin temellerinin çok iyi bilinmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Bu kapsamda nanoakışkan ısı transfer özelliklerini iyileştirmek için iki fazlı akış yaklaşımıyla çözümler elde edip nanoparçacık ve baz akışkan arasındaki kayma hızları belirlenmelidir. Isı transfer yüzeylerine eklenen yeni yapılar, döndürmeler akışı türbülanslı hale getirip ısı transfer katsayısını arttırmasına rağmen ciddi basınç kayıplarıyla yaşanmaktadır(Awais vd., 2021). (Akhavan-Zanjani vd., 2016) dairesel bir boru içerisinden grafen-Su nanoakışkanının üniform duvar ısı akısıyla laminar akışta taşınım ısı transfer katsayısını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında nanoakışkan çeşitli konsantrasyonlarda oluşturulmuştur. En iyi iyileştirme değerleri %0,02 konsantrasyonda gözlenmiş olup ısı iletkenlikte %10,3, ısı transfer katsayısında %14,2 ($Re = 1850$) sonuçlarına ulaşılmıştır. (Yu vd., 2012) nanoakışkanlarda türbülanslı akış üzerine çalışmıştır. Karşılaştırma kriteri seçimi, ısı transfer katsayısının hesaplanması ve performansın belirlenmesi türbülanslı taşınım katsayısının anlaşılmasında önemlidir. Düşük konsantrasyonlu nanoakışkanlar türbülanslı akışta üniform bir şekilde karıştıkları için homojen akışkanlar gibi davranmışlardır İncelenen türbülanslı akış durumlarında nanoparçacık konsantrasyonunun baskın bir öneme sahip olmadığı belirtilmiştir.

2.1. Nanoakışkanların Hazırlanışı

Nanoakışkan, nanometre boyutunda parçacık içeren sıvılar olarak tanımlanmaktadır(Mercan, 2020). Metalik ve karbon tabanlı gibi farklı parçacıklar baz akışkanların içine eklenebilmektedir. Geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında nanoakışkanlar sistem ısı veriminin ve performansının artırımı konusunda gelecek vaat etmektedir. Literatürde ısı transferi ve nanoakışkanlar alanında daha çok Al_2O_3 , CuO , SiO ve TiO_2 gibi metal oksit tabanlı nanoakışkanların daha yoğunluklu incelendiği görülmektedir(Sergis ve Hardalupas, 2011). Bazı nanoparçacıkların sık kullanılan baz akışkanlara kıyasla ısı iletkenlik değerleri Tablo 2.1 sunulmuştur.

Tablo 2.1. Metal Oksit Tabanlı Nanoparçacıklar, Karbon Tabanlı Nanoparçacıklar ve Baz Akışkanların Özellikleri (N. Ali vd., 2021)

Nanoparçacık	Termal İletkenlik(W/mK)
CuO	76,5
MgO	54,9
Al ₂ O ₃	40
ZnO	29
TiO ₂	8,4
Fe ₂ O ₃	6
SiO ₂	1,36
Karbon Nanotüp	4000
Grafen Nanoplatelet (Iranmanesh vd., 2016)	3000
Elmas	2200
Su	0,608
Gliserin	0,285
Etilen Glikol	0,257
Motor Yağı (Mercan, 2020)	0,145

Nanoakışkanların potansiyelinin hayata geçirilmesi, nanoakışkanların hazırlanması aşaması ile başlamaktadır. (Sheikholeslami ve Ganji, 2016) nanoakışkanın uniform ve stabil olması için sıvıya karıştırılacak parçacığın boyutunun 100 nm’den küçük olması gerektiğini belirtmiştir. Nanoakışkanların özellikleri ve performansı üzerinde nanoparçacıkların kümelenmesi oldukça önemli bir problemdir. (Yu ve Xie, 2012)’nin yaptığı araştırmaya göre nanoakışkan hazırlanışında geniş çaplı kullanılan 2 adımlı yöntem ve tek adımlı yöntem olmak üzere 2 farklı yöntem mevcuttur. 2 adımlı yöntem en yaygın kullanılan hazırlama yöntemidir. İlk olarak nanoparçacıkların toz halinde üretimi gerçekleştirilmektedir Kuru toz parçacıkları baz akışkanın içine eklenerek manyetik karıştırma, homojenleştirme gibi yöntemler kullanılarak nanoakışkanın homojen bir şekilde hazırlanması sağlanmaktadır. Bu yöntemin ekonomik olmasının nedeni parçacıkların yüksek hacimlerde üretilebilmesidir. Stabilizasyon nanoakışkanın performansı açısından çok önemlidir. Özellikle geniş yüzey alanlarında parçacıklar kümelenme eğilimindedirler. Kümelenme hem ısı transfer performansını azaltmakta hem de dar kanallar için tıkanma riski taşımaktadır.

Tek adımlı yöntemde nanoparçacıkların kurutulma, depolanma, taşınma ve dağıtılma işlemleri olmadığından nanoparçacıkların kümelenmesi en aza indirilerek akışkanın kararlılığı artırılabilir(A. R. I. Ali ve Salam, 2020). Tek adımlı

yöntemde büyük hacimde nanoakışkan üretiminin zorlukları bu yöntemi maliyetli hale getirmiştir(Yu ve Xie, 2012). Tek adımlı ve 2 adımlı üretim yöntemi karşılaştırıldığında, 2 adımlı metal oksit parçacıklar için uygunken metaller için tek adımlı metot uygundur(Wang ve Mujumdar, 2007).

2.2. Nanoakışkan Uygulamaları

Günümüzde nanoakışkanlar ısı transfer veriminin artırılmasında önemli potansiyele sahiptir. Nanoakışkanlar elektronik uygulamaları, taşımacılık, endüstriyel soğutma uygulamaları, nükleer sistemlerin güvenli şekilde soğutulması, bina ısıtma ile uzay ve savunma alanında aktif olarak kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe verimin artırılmak, ağırlığın ve maliyetin azaltılması istenmesi durumunda nanoakışkanlar önemli etkenlerdendir. Elektronik uygulamalarında ekipman yoğunluğundan dolayı soğutma yüzey alanı yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda 2 farklı yol izlenmesi gerekmektedir. İlki yeterli soğutmanın sağlanabilmesi uygun tasarımın yapıp soğutma yüzey alanının artırılmasıdır. İkincisi ise soğutucu akışkanın ısı taşınım katsayısının artırılmasıdır. İlk alternatifin izlenmesi durumunda kullanılan akışkanın ısı iletkenliği halen ısı verimi sınırlayabilmektedir. İkinci yöntem ile baz akışkanın için nanoparçacık eklenerek ısı transfer katsayısı iyileştirilebilmektedir. Sistemlerin ısı yönetimi için, sistem boyut ve gereksinimlerine bağlı olarak bu yöntemler bir arada kullanılabilir.

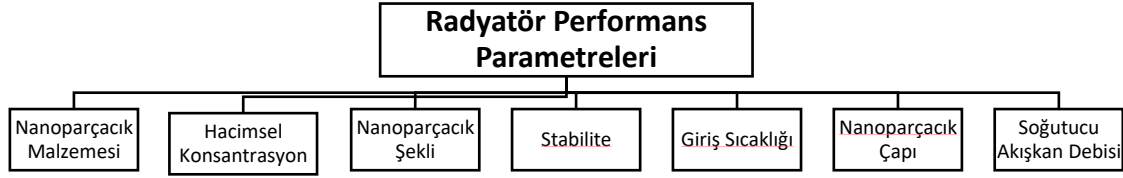
(Iranmanesh vd., 2017) boşaltılmış güneş kolektör tüpleri üzerinde su bazlı GNP nanoakışkanının ağırlıkça %0,025, %0,5, %0,075 ve %0,1 konsantrasyonunda 0,5, 0,1 ve 1,5 lt/dk debileri ile çalışmıştır. Güneş kolektörlerinin ısı veriminin 1,5 lt/dk debide %90,7 arttığı görülmüştür. Çalışmanın sonucunda sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik, viskozite ve özgül ısı gibi termofiziksel özellikler elde edilmiştir. (Colangelo vd., 2015) modifiye edilmiş güneş panelinde su ve Al_2O_3 -su (%3 konsantrasyonda) 2 farklı akışkanda ısı verim ölçmüştür. Deney sonucunda nanoakışkanın ısı veriminin suya göre %11,7 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. (Kim vd., 2019) su bazlı Al_2O_3 nanoakışkanının çapları 0,8 mm, 1,6 mm ve 2,0 mm olan bakır borulardaki ısı transfer performansını incelenmiştir. Nanoparçacık konsantrasyonu, Reynolds sayısı arttıkça ve boru çapı küçüldükçe ısı iletim katsayısı artmaktadır. Sonuçlar incelediğinde 0,8 mm çaplı boru 2,0 mm boru ile 1588 Reynolds sayısı koşulunda kıyaslandığında ısı transfer katsayısında %160 oranında iyileşme gözlemlenmiştir. (Gherasim vd., 2009) laminar akış koşullarında

Al_2O_3 -Su nanoakışkanın kısıtlı radyal akışlarda soğutma performansını incelemiştir. Sonuçlar radyal akış soğutma sisteminde iyileştirmenin mümkün olacağını göstermektedir. Nusselt sayısı nanoparçacık konsantrasyonu ile artarken Reynolds sayısı disk boşluğunun arttırılmasıyla azalma eğilimindedir. (Chandrasekar vd., 2010) su bazlı Al_2O_3 akışkanı ile oda sıcaklığında %0,33-5 aralığında farklı konsantrasyonlarda deneysel ve teorik çalışmıştır. Konsantrasyonlar herhangi bir yüzey aktif madde kullanmadan iki adım metodu ile hazırlanmıştır. Konsantrasyonun artmasıyla ısı iletkenlik artmasına rağmen viskozite değeri daha çok artmaktadır. (Alawi vd., 2018) 300-320 K arası sıcaklıkta Al_2O_3 , CuO, SiO_2 ve ZnO nanoparçacık ile farklı şekiller ve %1-5 arası konsantrasyonlarında termal iletkenliğini ve viskozitesini belirlemeye çalışmışlardır. Metal oksit nanoakışkanların ısı iletkenlik verimi sıcaklık ve nanoparçacık konsantrasyonunda arttığı, ancak nanoparçacık boyutunun etkisine göre azaldığı sonucuna varmışlardır. Elde edilen viskozite ve bağıl viskozite sonuçlarının da nanoparçacık konsantrasyonunun artmasıyla önemli ölçüde arttığı sonucuna varmışlardır. (Bakhtiari vd., 2021) çalışmalarında TiO_2 -Graphene-Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik katsayısındaki değişimini dinamik ışık saçılması ve zeta Potansiyel tekniklerini kullanarak incelemişlerdir. TiO_2 -Grafen-Su nanoakışkanı %0,005 ile %0,5 arası konsantrasyonlarda ve 25 °C ile 75 °C arası sıcaklarda test edilmiştir. %0,5 hacimsel konsantrasyon ve 75 °C sıcaklıkta ısı iletkenlik, baz akışkana kıyasla %27,84 artmıştır. Bu sonuca etki eden parametreler incelendiğinde; hacimsel konsantrasyon artışının termal iletkenliğe olan etkisinin sıcaklığın etkisinden daha büyük olduğunu da görmüşlerdir.

Radyatörler otomotiv sektöründe soğutma için önemli rol oynamaktadır. Soğutma akışkanı olarak su kullanılmaktadır. Radyatörlerin ısı transfer kabiliyetini arttırmak veya mevcut radyatör hacmini küçültmek için nanoakışkanların kullanımı araştırılmaktadır. Nanoakışkanların radyatörlerde kullanımında en yüksek verimi almak için sistemin ısı transfer karakteristiğini arttırmak ve basınç kayıplarını azaltmak gerekmektedir.

(Abbas vd., 2020) soğutucu olarak kullanılan nanoakışkanın giriş sıcaklığı yükseldikçe viskozitenin azalmasıyla, basınç kaybının düşmekte ve ısı transfer kabiliyetinin artmakta olduğunu belirtmişlerdir. (Khan ve Ahmad, 2019) nanoakışkan hazırlanırken nanoparçacık konsantrasyonunun yükselmesinin ısı transfer katsayısını arttırırken bir yandan akışkanın viskozitesini ve basınç kaybını da arttırıp ihtiyaç duyulan pompa gücünü yükselttiğini belirtmişlerdir. $P_{pompa} = \Delta P * V$ uyarınca, nanoakışkanın debisinin yükselmesiyle ısı transfer katsayısı artmakta iken, artan debiden dolayı basınç

kayıpları da çoğalmaktadır. Şekil 2.1’de radyatör performans parametreleri detaylandırılmıştır.



Şekil 2.1. *Radyatör Performans Parametreleri*

Parçacığın malzeme türü doğrudan ısı transferini etkilemektedir. Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça, yüksek iletkenlikte nanoparçacık içeren nanoakışkanlar için, performans artmaktadır. Akışkanın stabil olması önemli konulardandır. Nanoakışkandaki bir çökme durumu verimi negatif olarak etkileyecektir. Nanoparçacık çapı azaldıkça viskozite artmakta dolayısıyla verimi düşürmektedir. Yine nanoparçacığın şekli verimde etkilidir(Kakaç ve Pramuanjaroenkij, 2009). (Kakaç ve Pramuanjaroenkij, 2009) nanoparçacık çapı ve şeklinin ısı transferini negatif ve pozitif anlamda etkilediğinden bahsetmiştir. Bir tutarsızlık olsa da bu iki konu radyatör performansını etkilemektedir. Giriş sıcaklığı ve soğutucu akışkan debisi arttıkça ısı iletim performansı iyileşmektedir. Nanoakışkanlar kullanarak ısı transferi verimi iyileştirilmekte ve daha küçük radyatör ebatlarında aynı ısı geçiş miktarı sağlanabilmektedir. (Hussein vd., 2014) otomotiv soğutma sistemlerinde SiO₂-Su (%1-2,5 aralığında 4 farklı konsantrasyonda) ve su kullanarak 2 ila 8 l/dk (500-1750 Reynolds sayısı) arasında soğutucu akışkan debisi ile deneysel ve sayısal olarak çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda Nusselt sayısının nanoakışkan konsantrasyonu, Reynolds sayısı ve giriş sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Düşük konsantrasyonlu SiO₂-Su nanoakışkanının ısı transfer oranı su ile karşılaştırıldığında yaklaşık %50 artmıştır. Analiz ve deneysel verilerin uyumlu olduğu belirtilmiştir. (Kumar vd., 2020) Al₂O₃, ZnO ve CuO’ın %60 etilen glikol ve %40 su ile farklı konsantrasyonlar elde edilmiş olup çalışma sonucunda maksimum ısı transfer katsayısı %2’lik konsantrasyonda sırasıyla %42,5, %47,4 ve % 51,1 elde edilmiştir.

(Vajjha vd., 2010) Al₂O₃ ve CuO nanoparçacıkları ile su ve etilen glikolü karıştırarak farklı derişimlerde nanoakışkanları düz tüp otomotiv radyatörlerinde çevirerek, nanoakışkanların baz akışkanlarına göre avantajlarını 3 boyutlu laminer akış ve ısı transferi analizleri ile incelemiştir. Hacimsel parçacık konsantrasyonu arttıkça

yüzey sürtünme kuvvetleri ve ısı transfer katsayısı artmaktadır. Artan hacimsel orandan dolayı basınç kayıpları artmaktadır. Fakat baz akışkana göre aynı ısı transferi için daha az hacimsel debi ihtiyacı olduğu için gerekli pompa gücü azalmaktadır. (Alosious vd., 2017) Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanlarının radyatör boyunca zorlanmış taşınım ısı transferini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Deneysel olarak %0,05 konsantrasyon oranında giriş sıcaklığı $90^{\circ}C$ olan ve Reynolds (Re) sayısı 136 ve 816 arasında değişen düz tüp soğutma geometrisinde çalışmıştır. Sayısal olarak %0,05 ve %1 arasında 6 farklı konsantrasyonda giriş sıcaklığı $90^{\circ}C$ olan ve Re sayısı 136 ve 816 arasında değişen düz tüp soğutma geometrisinde çalışmıştır. Sonuçlar hacimsel konsantrasyon ve Re sayısı artışıyla ısı transfer katsayısının ve veriminin arttığı göstermektedir. En iyi iyileştirme %1 konsantrasyonda %13,2 ile CuO 'te ve %16,4 ile Al_2O_3 'te elde edilmiştir. Isı transfer iyileştirmesi pompa gücü ihtiyacını da artırdığından optimum nanoakışkan konsantrasyonu %0,4-%0,8 olarak belirtilmiştir. Al_2O_3 ve CuO karşılaştırıldığında, Al_2O_3 daha iyi ısı transfer iyileşmesi stabilite sağlamıştır. (Samira vd., 2015) %60 etilen glikol ve %40 su bazlı CuO 'in farklı konsantrasyonlarda basınç kaybı ve sürtünme faktörü üzerine çalışmıştır. $35^{\circ}C$, $44^{\circ}C$, ve $54^{\circ}C$ giriş sıcaklığı verilmiştir. Çalışma sonucunda nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça ve giriş sıcaklığı azaldıkça basınç kayıpları artmaktadır.

(Khan ve Ahmad, 2019) su tabanlı Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO , and SiO_2 olmak üzere 4 farklı nanoakışkan ile yatay düz tüp radyatörde çalışarak radyatördeki basınç kaybını ve ısı transferini belirlemeye sayısal olarak çalışmıştır. 2 fazlı yaklaşım kullanıp çözüm elde etmiştir. Al_2O_3 ve ZnO 'da %4,9-14 arası termal iyileşme gözlemlerken TiO_2 ve SiO_2 'da %0-4 arası iyileşme görülmüştür. (Tijani ve Sudirman, 2018) ANSYS Fluent kullanarak %50 su %50 etilen glikol kullanarak baz akışkan elde etmiştir. Baz akışkanın içine %0,05, %0,15 ve %0,3 oranında Al_2O_3 ve CuO nanoparçacık eklemektedir. Düz tüp geometrisinde debi miktarını sabit tutarak analizleri gerçekleştirmiştir. CuO in ısı transfer katsayısını daha yüksek bulmuştur. (Kakavand ve Molana, 2017) araba radyatörlerinde ısı transfer karakteristiğini incelemiştir. Karbon nanotüp (CNT) ve Boron Nitrit'in %0,5 ve %1 karışım oranlarını bükülmüş tüp ve düz tüpte Re sayısı 100-2000 arası olan akışta çalışmıştır. İncelenen durumlar arasında en iyi performans %60 su ve %40 etilen glikol ile karbon nanotüpün %1 hacimsel konsantrasyonunda elde etmiştir. Karbon nanotüp-Su ve boron nitrit-Su baz akışkan suya göre sırasıyla %11 ve %7,7 daha iyi ortalama ısı transferi elde edilmiştir. (Sumanth vd., 2018) %50 su ve %50 etilen glikol bazlı karboksil

grafen platalet %0,02, %0,03 ve %0,04 konsantrasyonunda giriş sıcaklığı 40 °C ve 50 °C için 1200-2500 Reynolds sayısı aralığında farklı değerlerde çalışmıştır. Konsantrasyon artarken Nusselt sayısı ve radyatör verimi artmış fakat sürtünme katsayısında değişim olmadığı gözlemlenmiştir. (Satyaprasad vd., 2020) su ve etilen glikol bazlı Al_2O_3 ve SiC nanoakışkanlarıyla %0,01 ve %0,1 konsantrasyon arasında 3 ila 12 lt/dk debi aralığında çalışmıştır. Su ve etilen glikol'a göre nanoakışkan ısı transfer katsayısı iyileşmesi maksimum %0,1 konsantrasyonunda %50 mertebelerinde gerçekleşmiştir. Debi ve parçacık konsantrasyonu arttıkça ısı transfer verimi artmaktadır. (Ponangi vd., 2018) karboksil grafenin etilen glikol ile konsantrasyonlarının radyatörlerde kullanımı üzerine çalışmıştır. Radyatördeki verimi arttırmak için stabil bir nanoakışkan kullanımı önemlidir. %0,04 ve %0,03 hacimsel konsantrasyonunda ve 3 lt/dk debideki giriş sıcaklığı 40°C ve 50°C iken %11,3 ve %12,5 oranında basınç kaybı artışı olmuştur. %0,02 karboksil grafen konsantrasyonunda 40 °C giriş sıcaklığında ve 5 lt/dk debide Nusselt sayısı %36,4 artarken aynı karboksil grafen konsantrasyonunda giriş sıcaklığı 50 °C ye ve debi 6 lt/dk ya yükseltilmesine rağmen Nusselt sayısı artışı %8,45 le sınırlı kalmıştır. Karboksil grafenin stabilizasyonu arttırılabilirse soğutucu nanoakışkan olarak kullanılabilir. (Minea, 2016) türbülanslı akışlarda nanoakışkanların taşınımıyla ısı transferi özelliğinin belirlenmesinde nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, karşılaştırma kriteri ve ısı transfer iyileştirmelerindeki verim üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmanın amacı, mevcut nanoakışkan modellerinin doğruluğunu ölçmektir. Dairesel boru içerisinde tam gelişmiş türbülanslı akış için sabit pompa gücünde baz akışkanı nanoakışkana göre farklı performans katsayıları ile kıyaslamıştır. Sonuçlarda hacimsel konsantrasyonun artmasıyla ısı transferinin ve pompa güç ihtiyacının arttığı belirtilmiştir. (Ho vd., 2019) Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ağırlıkça %8'e kadar konsantrasyonlarda paralel mini kanallı ısı değiştiricisi çalışılmıştır. 238-1549 Reynolds sayısı aralığında ve 1,2–6,8 W/cm² aralığında üniform ısı akısı uygulanmıştır. Konsantrasyon artışı ve debi düşüşü sürtünme faktörünü arttırmaktadır. 258 Reynolds sayısında ve su bazlı %8 Al_2O_3 konsantrasyonunda basınç düşüşü suya göre 1,41 kat artmıştır. Ağırlıkça %8 Al_2O_3 konsantrasyonunda ve 1549 Reynolds sayısında ısı transfer etkinliği 1,4 kat, performans katsayısı (FOM) 1,27 kat artmıştır. Reynolds sayısı ve nanoparçacık içeriğinin artışı ısı direnci düşürmüştür. (Elcioglu vd., 2020) çalışmasının amacı düz plaka güneş kolektöründe laminer ve türbülanslı akışta farklı tipte nanoakışkanların ısı verimini ve bazı performans katsayılarının (FOM) araştırılması ve güneş kolektörü termal verimi

ile FOM lar arasındaki ilişkiyi tanımlamaktır. Ayrıca farklı FOM'ların farklı nanoakışkanlarda ve sistemlerde kullanılabilirliğini araştırmaktır. FOM'ların kullanılabilir olması termal sistemleri modellemek için kullanılan zaman ve paradan tasarruf edebilmek demektir. (Minea ve Manca, 2017) dairesel ısı değıştiricide ısı prosesleri için sıcaklık ve akış arasındaki siner ilişkisini su ve oksit nanoakışkanlar ile incelemiştir. Sonuç olarak ısı transfer iyileşmesi Reynolds sayısı, konsantrasyon ve nanoparçacık tipine bağlıdır. Ayrıca Mouromtseff sayısı kriteri uygulanmış ve nanoakışkanlar boru içinde tez fazla zorlanmış bir akış uygulamasında suyun yerini alabilecek yeterlilikte olduğu gözlemlenmiştir.

Yapay zeka her alanda olduğu gibi nanoakışkanların incelenmesi konusunda da farklı çalışmalarda kullanılmıştır. Yapay sinir ağıları, bulanık mantık optimizasyon yöntemleri ve hibrid yapay zeka algoritmaları nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, ısı transfer katsayıları ve ısı performanslarının tahminlenmesinde kullanılan en kullanışlı yapay zeka algoritmalarındandır(Bahiraei vd., 2019). (Hemmat Esfe vd., 2016) deneysel veriler doğrultusunda TiO_2 -Su nanoakışkanının dinamik viskozitesini yapay sinir ağılarıyla modellemiştir. Elde edilen korelasyon TiO_2 -Su nanoakışkanını dinamik viskozitesini %0,5 hatayla hesaplayabilmektedir. Viskozite tahmininde sıcaklık ve kütsel debi arasında ilişki kurmaktadır. (Shi vd., 2021) yapay sinir ağılarını kullanarak karbon tabanlı manyetik nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini tahminleme üzerine çalışmıştır. Yapay sinir ağıları ile elde edilen çözüm ile deneysel sonuçlar arasındaki fark ± 5 'dir. (Onyiriuka, 2023) nanoakışkanların ısı transfer katsayısını hesaplamalı akışkanlar dinamiğı ile hesaplanmasındaki doğruluğı tahmin etmek için sinir ağılarını kullanmıştır. Model 10-100 nm arasındaki boyutta olan Reynolds sayısı 100-15000 aralığında olan ve %2-3,5 konsantrasyon için çalışmaktadır. Algoritmanın doğruluğı kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve R^2 ile belirlenmektedir. Modele dair bu değışkenler $R^2= 0,8$, $MAE=0,77$ ve $RMSE=2,6$ olarak belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Nanoakışkanlarda sayısal olarak çalışmak için tek fazlı yaklaşım ve 2 fazlı yaklaşım olmak üzere 2 farklı yaklaşım vardır(Abbas vd., 2020). Tek fazlı yaklaşımda, nanoparçacıklar ve baz akışkan tek fazlı geleneksel sıkıştırılmaz akışkan için kullanılan denklemlerle çözülmektedir. İki fazlı yaklaşımda nanoakışkan ve baz akışkanın farklı olarak davrandığı dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımda yüksek konsantrasyon oranında Eulerian-Eulerian ve düşük konsantrasyon için Eulerian-Lagrangian olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmaktadır. 2 fazlı yaklaşım gerçeğe daha yakın çözüm elde edilmesine rağmen kompleks ve çözmesi uzun zaman almaktadır. Bu tez kapsamında tek fazlı modelleme yaklaşımı kullanılmıştır.

3.1. Grafen Nano Platalet (GNP) - Su Nanoakışkanı

Karbon bazlı nanoparçacıkların ısı iletim katsayıları metaller, metal oksitler ve baz akışkanlara göre oldukça yüksektir. Bu sebeple, ısı yönetiminin kritik olduğu radyatör sisteminde kullanımı bu tez kapsamında incelenmiştir. Gerçekleştirilen nümerik çalışma kapsamında GNP-su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri (Iranmanesh vd., 2017) 'nin deneysel çalışmasından alınmıştır ve Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te sunulmuştur. Literatürde verilen korelasyonların kullanımı yerine deneysel veri kullanımı ile analiz sonuçlarının daha gerçekçi olması hedeflenmiştir.

Tablo 3.1. GNP Isıl İletkenlik Katsayısı (Iranmanesh vd., 2017)

Su	k (W/mK)	0,025 wt%	k (W/mK)	0,05 wt%	k (W/mK)	0,075 wt%	k (W/mK)	0,1 wt%	k (W/mK)
288,0	0,578	288,0	0,647	287,7	0,676	287,9	0,682	287,9	0,712
293,0	0,584	292,9	0,663	292,7	0,689	293,0	0,701	292,9	0,721
298,0	0,597	297,9	0,676	297,7	0,702	297,9	0,714	297,9	0,743
302,9	0,607	302,7	0,688	302,7	0,716	302,9	0,731	302,9	0,757
308,0	0,615	308,0	0,701	307,9	0,737	307,9	0,752	307,9	0,784
312,9	0,628	313,0	0,714	313,0	0,754	312,9	0,772	313,1	0,800
318,0	0,637	318,4	0,730	317,9	0,769	318,0	0,791	318,1	0,817
322,9	0,647	322,9	0,743	322,9	0,786	322,7	0,807	322,9	0,836
327,9	0,658	328,1	0,755	327,6	0,799	327,9	0,824	327,9	0,854
333,0	0,666	332,9	0,769	332,9	0,815	333,0	0,845	333,0	0,872
337,9	0,677	338,0	0,785	338,0	0,830	337,7	0,863	337,9	0,890
343,0	0,687	343,0	0,798	342,9	0,846	342,9	0,878	343,0	0,910

Tablo 3.2. *GNP Viskozite* (Iranmanesh vd., 2017)

Su	μ (kg/(ms))	0,025 wt%	μ (kg/(ms))	0,05 wt%	μ (kg/(ms))	0,075 wt%	μ (kg/(ms))	0,1 wt%	μ (kg/(ms))
293,2	0,001049	293,2	0,001175	293,2	0,001227	293,0	0,001260	293,0	0,001306
303,0	0,000854	303,0	0,000931	303,1	0,000988	303,1	0,001040	303,0	0,001089
312,9	0,000711	313,0	0,000782	313,0	0,000848	313,1	0,000900	313,0	0,000958
323,0	0,000604	323,0	0,000689	323,0	0,000738	323,0	0,000787	323,0	0,000850
332,8	0,000502	333,1	0,000592	333,0	0,000631	333,0	0,000674	333,0	0,000718

Tablo 3.3. *GNP Özgöl Isı* (Iranmanesh vd., 2017)

Su	cp (J/kg.K)	0,025 wt%	cp (J/kg.K)	0,05 wt%	cp (J/kg.K)	0,075 wt%	cp (J/kg.K)	0,1 wt%	cp (J/kg.K)
293,0	4032,63	292,8	3896,82	292,9	3769,50	292,9	3710,08	293,1	3629,44
302,8	4077,19	302,9	3932,89	303,0	3805,57	303,0	3735,54	303,0	3640,05
312,8	4117,51	312,9	3964,72	312,9	3843,77	313,0	3758,89	312,9	3652,79
323,0	4159,95	323,0	3998,67	323,0	3877,72	322,8	3784,35	323,1	3663,40
332,9	4202,39	333,1	4034,75	332,9	3913,79	333,0	3805,57	333,0	3678,25
342,9	4244,83	342,9	4062,33	342,9	3945,62	343,0	3833,16	343,0	3688,86

Elde edilen veri noktaları birer eğri ile temsil edilerek her bir konsantrasyon için sıcaklığa bağlı termofiziksel özellik fonksiyonları elde edilmiştir. GNP'e ait (nanoparçacık) özellikler Tablo 3.4'te yer almaktadır.

Tablo 3.4. *GNP Özellikleri* (Iranmanesh vd., 2016)

Özellik	Değer
Kütle Yoğunluğu	0,2-0,4 g/cm ³
Bağıl Yerçekimi	2,0-2,25 g/cm ³
Özgöl Yüzey Alanı	500 ve 750 m ² /g
Parçacık Çapı	2 μ m
Kalınlık	2 μ m
Termal İletkenlik (Yüzeye Paralel)	3000 W/mK
Termal İletkenlik (Yüzeye Dik)	6 W/mK

Referans makalede (Elsebay vd., 2016) nanoakışkan radyatör giriş sıcaklığı 353 K'dir. GNP'in termofiziksel özelliklerinin sunulduğu (Iranmanesh vd., 2017) çalışmalarında nanoakışkan sıcaklığı maksimum 60°C'dir. (Park ve Pak, 2002)'a göre ısıyan soğutucu nanoakışkanın düz tüpe giriş sıcaklığı 17-82°C arasındadır. Bu çalışmada

düz tüp giriş sıcaklığı 333 K olarak çalışılmıştır. Suyun yoğunluk değeri (http-2)'den alınmıştır. Farklı sıcaklık ve konsantrasyonlardaki GNP nanoakışkanların yoğunluk değeri Denklem (3.1)'de yer alan yoğunluk formülünden hesaplanmıştır. Çözücüde nanoakışkanın termofiziksel özellikleri polinom olarak sıcaklığa bağlı tanımlanmıştır. Tüp giriş Reynolds sayısı, tüp giriş sıcaklığı olan 333 K olan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri kullanılarak giriş hızları hesaplanmıştır. Isı transfer katsayısını hesaplamak için yapılan ardıl işlemlerde (post-process) nanoakışkanların 333 K'e denk gelen termofiziksel özellikleri kullanılmıştır. Referans çalışmadaki (Elsebay vd., 2016) giriş sıcaklık koşulu 333 K olacak şekilde yeniden tanımlanıp analiz yapılmıştır.

3.2. Korunum Denklemleri

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri olmak üzere 3 adet korunum denklemi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak ANSYS-FLUENT 2021'de ayrıştırılarak çözülmüştür. Süreklilik denklemi, momentum denklemi ve enerji denklemi kapalı formları ile Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3) ile verilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho_{nf} U_i) = 0 \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de U_i hız vektörü (m/s), ρ_{nf} nanoakışkanın yoğunluğudur (kg/m^3)'dir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho_{nf} U_j U_i) = \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu_{nf} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de; p basınç(Pa), μ_{nf} nanoakışkanın dinamik viskozitesi(kg/m.s) ve $i, j \in \{1,2,3\}$ 'dir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho_{nf} C_{p_{nf}} U_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{nf} \left(\frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \right) \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'te; $C_{p_{nf}}$ nanoakışkanın özgül ısısı (J/kg.K), T akışkanın sıcaklığı (K) ve K_{nf} nanoakışkanın ısıl iletkenliği (W/m.K)'dir.

3.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Bu tez kapsamında (1) (Elsebay vd., 2016)'nin çalışmasında verilen akış geometrisi için Al_2O_3 ve CuO nanoparçacıklı nanoakışkanlar için analizlerin tekrarlanması ve doğrulaması için ve (2) GNP nanoakışkanlar için olmak üzere iki ayrı analiz gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda da nanoparçacıkların baz akışkan içinde üniform bir

şekilde yayıldığı varsayımı yapılmıştır. Referans çalışmada (Elsebay vd., 2016) nanoakışkanların termofiziksel özellikleri Denklem (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) ile hesaplandığından doğrulama analizlerinde de aynı korelasyonlar kullanılmıştır. GNP nanoakışkanlar için akış analizlerinde ise (Iranmanesh vd., 2017) tarafından sunulan deneysel termofiziksel özellik değerleri kullanılmıştır.

$$K_{nf} = \left[\frac{K_p + 2K_{bf} + 2(K_p - K_{bf})(1 + \beta)^3 \varphi}{K_p + 2K_{bf} - (K_p - K_{bf})(1 + \beta)^3 \varphi} \right] K_{bf} \quad (3.4)$$

$$\mu_{nf} = (1 + 7.3\varphi + 123\varphi^2)\mu_{bf} \quad (3.5)$$

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad (3.6)$$

$$C_{p_{nf}} = \frac{\varphi\rho_p C_{p_p} + (1 - \varphi)\rho_{bf} C_{p_{bf}}}{\rho_{nf}} \quad (3.7)$$

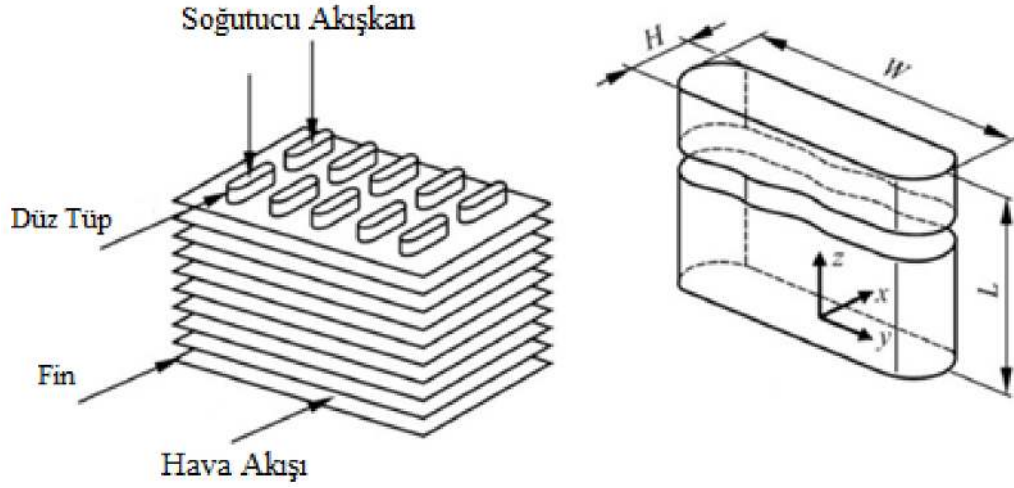
Denklem (3.4)'te β nanotabaka kalınlığının parçacık yarıçapına oranı ($\beta = 0,1$), φ nanoparçacık oranı (hacimsel), nf nanoakışkan, bf baz akışkan ve p nanoparçacıktır. İlgili bileşenlere ait özellikler Tablo 3.5'de sunulmaktadır.

Tablo 3.5. Nanoparçacıkların ve Baz Akışkanın Termofiziksel Özellikleri (Elsebay vd., 2016)

Malzeme	Özgül Isı (J/kg.K)	Termal İletkenlik (W/m.K)	Yoğunluk (kg/m ³)	Viskozite (kg/m.s)
Al ₂ O ₃	773	40	3960	-
CuO	551	33	6000	-
Saf Su	4195	0,668	973,7	0,000365

3.4. Analizin Doğrulanması

Bu çalışmada sayısal yöntemler kullanılarak otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan radyatörün aynı ısı transfer miktarını farklı konsantrasyon oranlarında Al₂O₃-Su ve CuO- Su nanoakışkanları kullanılarak daha küçük ölçülerde taşınması üzerine çalışılmıştır. (Elsebay vd., 2016)'ın yaptığı çalışma tekrarlanarak akış geometrisinin bu tez kapsamında doğru şekilde dikkate alındığı doğrulama çalışması ile doğrulandıktan sonra ilgili geometri ile GNP nanoakışkanı için analizler gerçekleştirilmiştir. Model ve ağ yapısı ANSYS-FLUENT programı kullanılarak 3B olarak elde edilmiştir. Analizlerde dikkate alınan akış koşulları Tablo 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.1. Tipik Radyatörün Düz Tüplerinin Şematik Gösterimi. (Elsebay vd., 2016)'dan uyarlanmıştır.

Tablo 3.6. Akış Koşulları

Parametre	Birim	Değer
Reynolds Sayısı, $Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$	[-]	250 – 1750 [Adım=250] Laminer Akış
Nanoparçacıklar		Al_2O_3 ve CuO
Nanoparçacık Oranı (Hacimsel)	[%]	1, 3, 5, 7
Giriş Sıcaklığı	[K]	353
Dış Isı Transfer Katsayısı, h_0	[W/m ² .K]	50
Hava Sıcaklığı	[K]	303

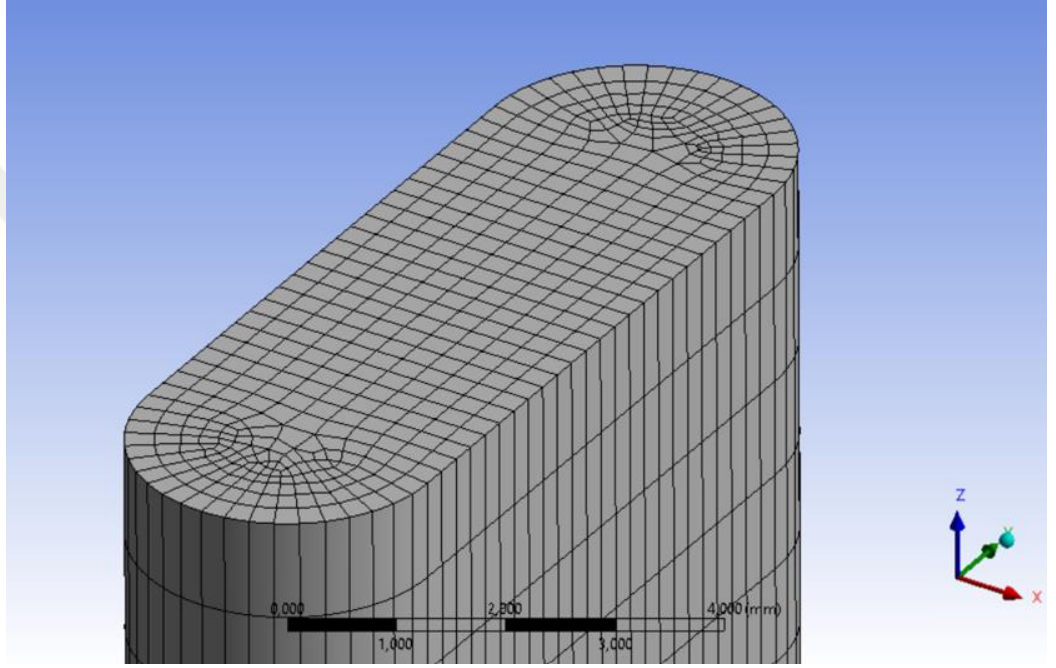
3.4.1. Varsayımlar

Bu tez kapsamında yapılan analizlerde nanoparçacıkların baz akışkan içinde homojen dağıldığı varsayılp akışkan tek fazlı akışkan olarak kabul edilmiştir. Tüp içindeki nanoakışkanın sıkıştırılamaz olduğu kabul edilmiş ve laminar akış koşullarında çözüm yapılmıştır. Korunum denklemleri basınç temelli çözücü (pressure based solver) kullanılarak simülasyonların tamamı zamandan bağımsız (steady) olarak çözülmüştür. Baz akışkan ve nanoakışkan malzeme özellikleri Denklem (3.4)'te yer alan formüllerle hesaplanmış olup ilgili çözümlerde malzeme girdisi olarak kullanılmıştır. Sınır koşulları olarak Tablo 3.6'da yer alan değerler girilmiştir. Duvarlar sabit duvar ve duvarlarda kaymazlık koşulu uygulanmıştır. Basınç hız bağıntısı Coupled şeması ile çözülmüştür. Akı tipi Rhie-Chow: distance based olarak seçilmiştir. Tüm simülasyonlarda ikinci derece (second order) ayrıklaştırma şeması kullanılmıştır. Korunum denklemleri kontrol hacmi yaklaşımıyla FLUENT 2021 kullanılarak çözülmüştür. Korunum denklemlerinin

iterasyonlarından kaynaklı oluşan hatalarının (residuals) yakınsamış çözümleri 10^{-6} 'dan küçük olana kadar Gauss-Seidel metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

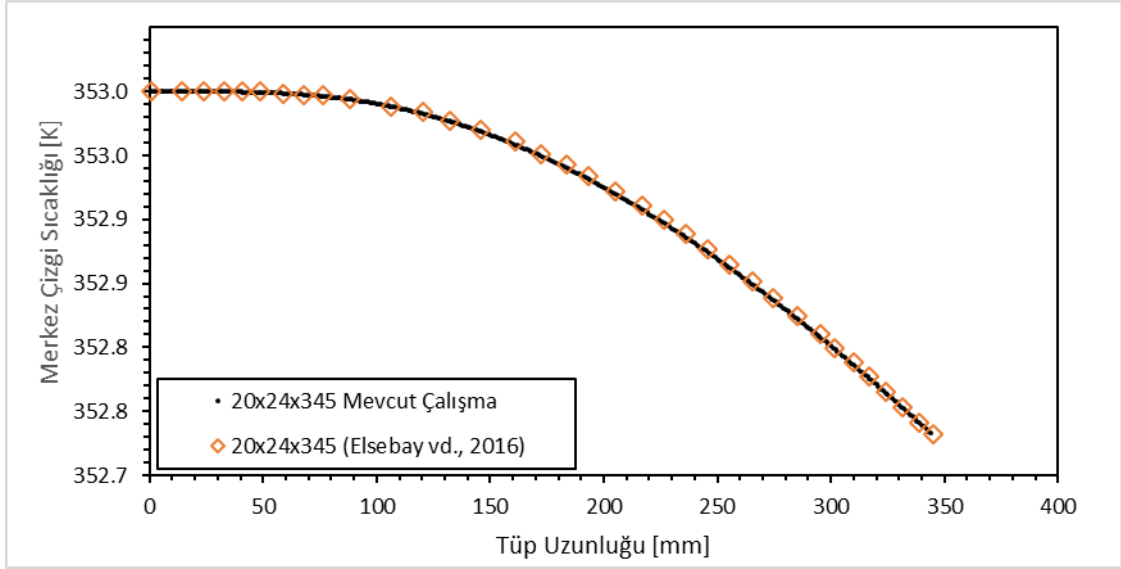
3.4.2. Ağ Bağımsızlık Çalışması

Ağ element sayısının çözüm üzerindeki etkisinin araştırılması için her üç doğrultuda (x, y, z) $N_x \times N_y \times N_z$ için 10 x 12 x 345, 15 x 18 x 345 ve 20 x 24 x 345 olmak üzere 3 farklı ağ yapısı uygulanmıştır.



Şekil 3.2. Düz Tüp Ağ Görünümü ($N_x \times N_y \times N_z = 20 \times 24 \times 345$)

Ağ bağımsızlık çalışmasında akışkan olarak su, Re sayısı 1750 için dikkate alınmıştır. Karşılaştırma yaparken tüpün merkezinden geçen çizginin sıcaklık değerleri alınmıştır. Sonuçlar merkez çizgi sıcaklığı bakımından, (Elsebay vd., 2016)'ın sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.3'te sunulmaktadır. Sonuçlar birbiri ile uyumludur.



Şekil 3.3. Mesh Bağımsızlık Çalışması

Seçilen ağ yapısında element sayısı 169395'tir. Ağ kalitesini belirlemek için ortogonal kalite ve çarpıklık (skewness) değeri olmak üzere 2 parametre incelenmiştir. Çarpıklık, hücrenin şekli ile eşdeğer hacme sahip bir eşkenar hücrenin şekli arasındaki fark olarak tanımlanır(ANSYS *Fluent Theory Guide 15*, 2015). Çarpıklık değeri 0,95 in altında tutulmalı ve ortalama değer 0,33 altında olmalıdır. Bu tez çalışmasında maksimum çarpıklık değeri 0,54 ve ortalama çarpıklık değeri 0,099'dur. Ortogonal kalite 0,1'den büyük olmalıdır(ANSYS *Fluent Theory Guide 15*, 2015). Mevcut çalışmada ortalama ortogonal kalite 0,98'dir.

3.4.3. Isı Transfer Hesaplamaları

Newton'un soğuma yasasına göre toplam ısı transfer oranı ve toplam ısı kayıp oranı denklemleri birleştirildiğinde ortalama ısı transfer katsayısı ve T_b (giriş ve çıkış yüzeylerinin ortalama sıcaklık değeri) Denklem (3.8) ile tanımlanır(Elsebay vd., 2016):

$$h_{ort} = \frac{\rho A V C_p (T_{giriş} - T_{çıkış})}{A_s (T_b - T_s)} \quad (3.8)$$

$$T_b = \frac{T_{giriş} + T_{çıkış}}{2} \quad (3.9)$$

denklemleri elde edilmektedir.

Denklem (3.10)'da, ; A_s tüp yüzey alanı (m^2), T_s ortalama tüp duvar sıcaklığı (K), $T_{giriş}$ akışkan giriş sıcaklığı (K) ve $T_{çıkış}$ akışkan çıkış sıcaklığı(K)'dır.

Giriş ve çıkış sıcaklıkları, giriş ve çıkış yüzeylerindeki ortalama sıcaklık olarak *facet average temperature* komutu ile hesaplanmıştır. Ortalama Nusselt Sayısı ve hidrolik çap hesaplamaları Denklem (3.10) ile verilmektedir(Elsebay et al., 2016).

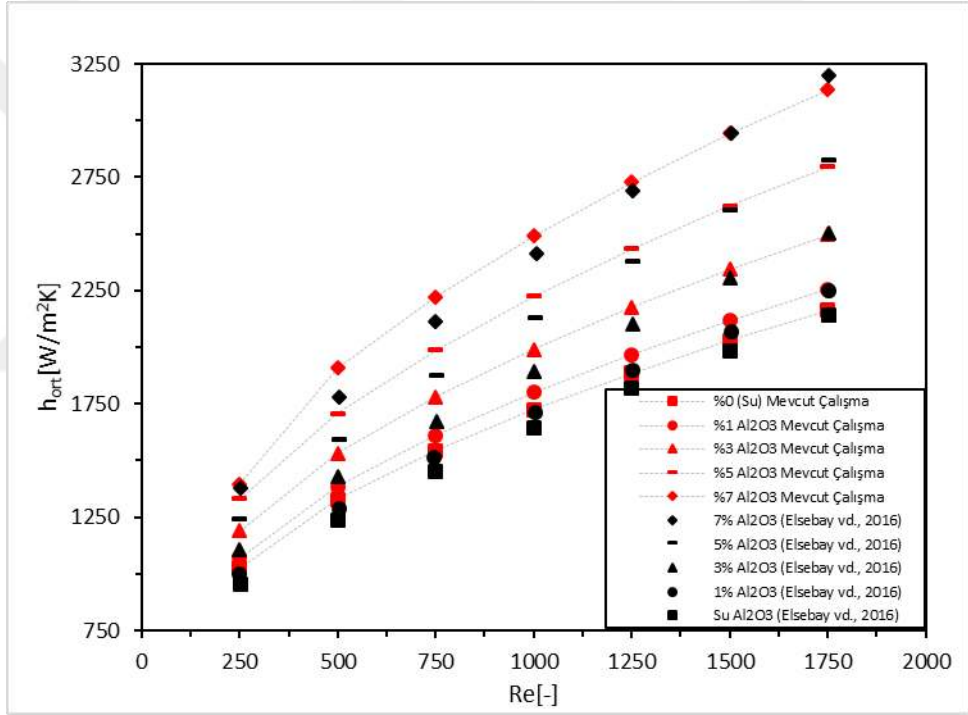
$$Nu_{ort} = \frac{h_{ort} D_h}{K}, D_h = \frac{4 \cdot A}{P_m} \quad (410)$$

Denklem (3.10)'da D_h düz tüpün hidrolik çapı (m), A düz tüp giriş alanı ve P_m düz tüpün çevresi (m)'dir.

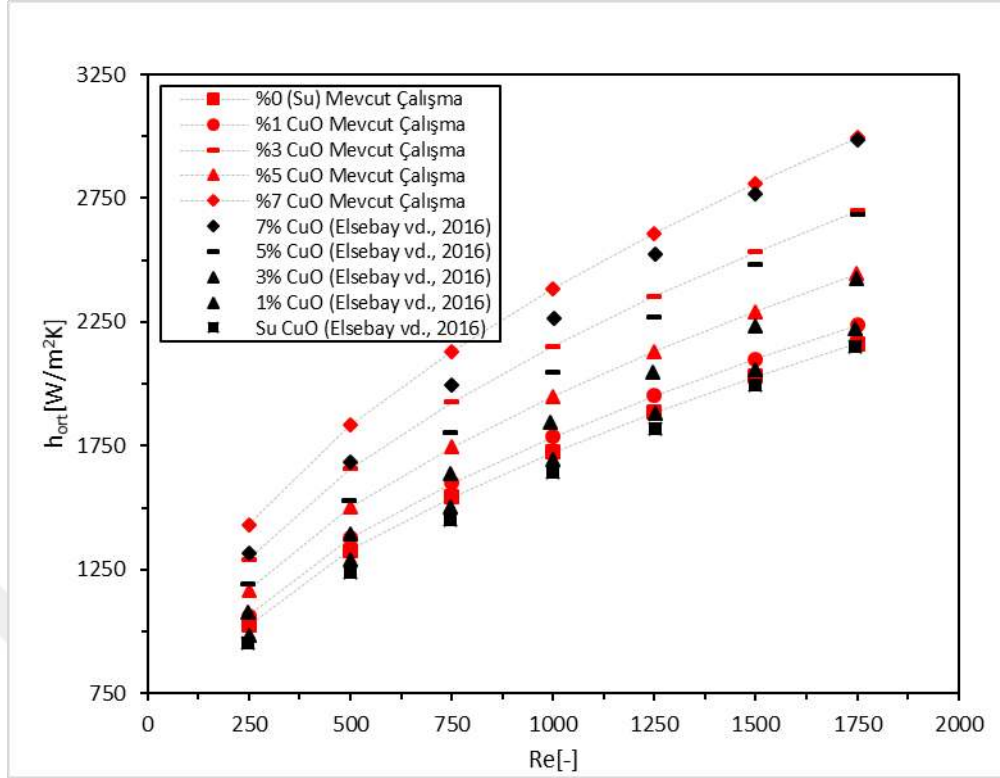
4. SONUÇLAR

4.1. Doğrulama Sonuçları

Analizler Bölüm 3'te detaylandırılan varsayımlar ve çözüm yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar bu Bölümde sunulmaktadır. Verilerin işlenmesi amacıyla çözümlerden ortalama tüp çıkış sıcaklığı, ortalama yüzey sıcaklığı, ortalama yüzey sürtünme katsayısı, ortalama giriş basıncı ve ortalama çıkış basıncı elde edilmiştir. 3.4.33 de verilen formüller kullanılarak ortalama ısı transfer katsayısı ve ortalama Nusselt sayısı elde edilmiştir. (Elsebay vd., 2016) ve mevcut çalışma sonuçları ortalama ısı transfer katsayısı için Şekil 4.1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

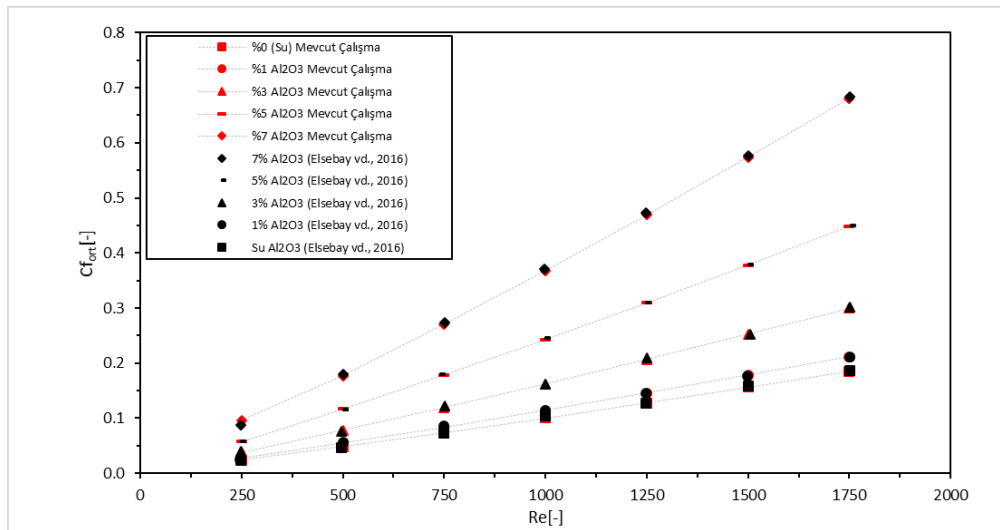


Şekil 4.1. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Isı Transfer Katsayısı Değişimi

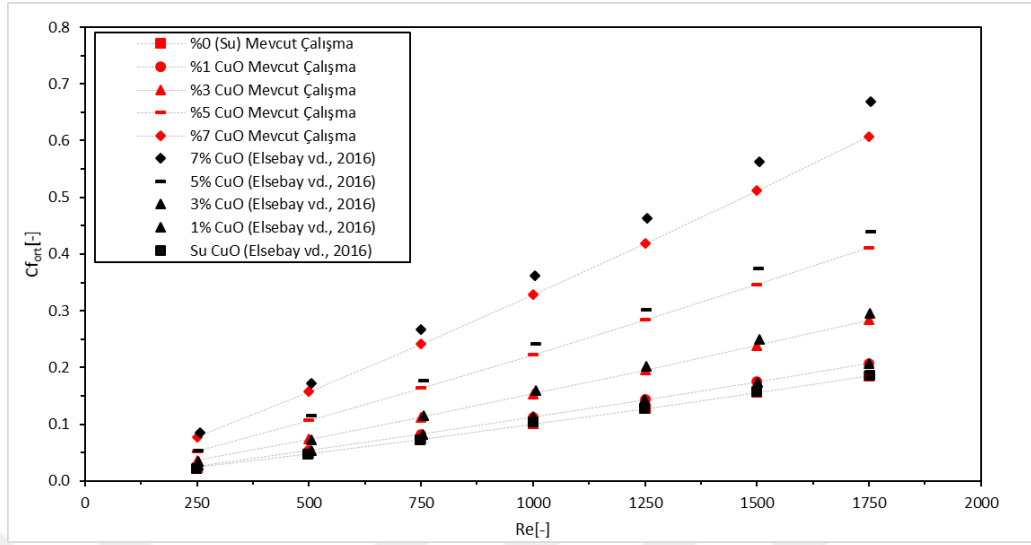


Şekil 4.2. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda CuO-Su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Isı Transfer Katsayısı Değişimi

Ortalama ısı taşınım katsayısı analizden elde edilen değerler doğrultusunda Denklem (3.8) kullanılarak hesaplanmıştır. Al_2O_3 /su, CuO-Su konsantrasyonların ve suyun ısı taşınım katsayısı grafiği incelendiğinde Reynolds sayısı ve konsantrasyon arttıkça ısı taşınımının arttığı görülmektedir.

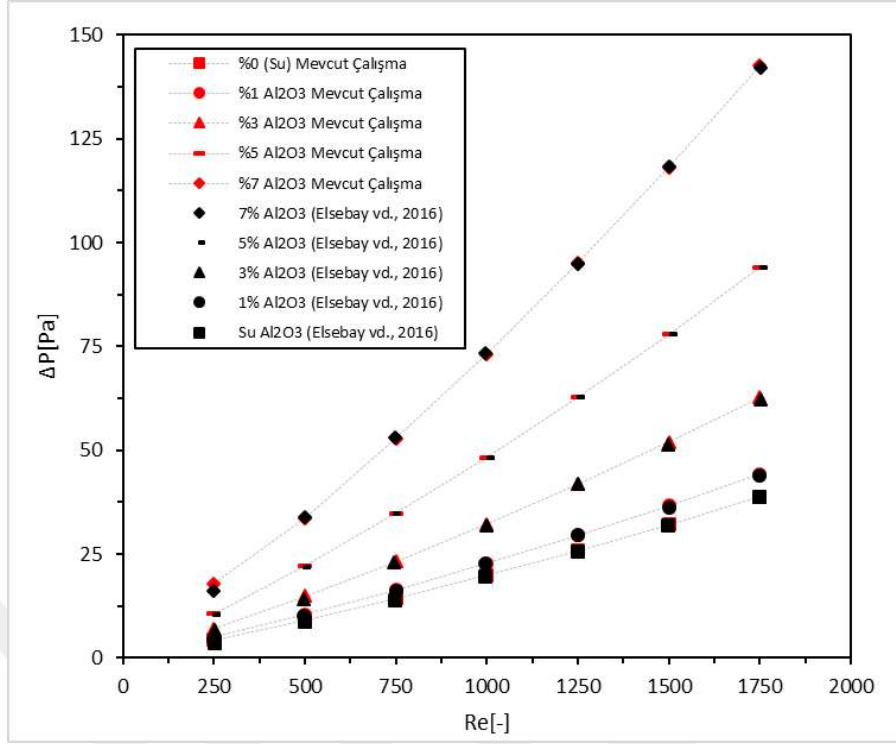


Şekil 4.3. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Yüzey Sürtünme Katsayısı Değişimi

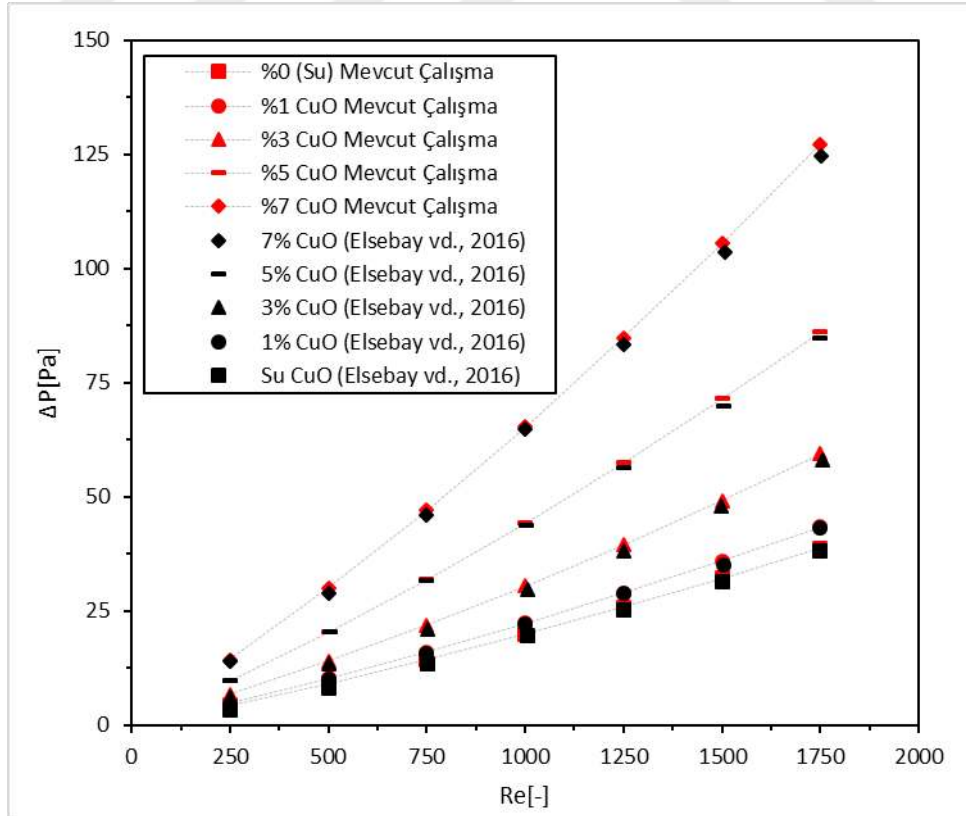


Şekil 4.4. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda CuO-Su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Ortalama Yüzey Sürtünme Katsayısı Değişimi

Al_2O_3/su , CuO-Su konsantrasyonlarına ve suya ait ortalama yüzey sürtünme katsayısı incelendiğinde konsantrasyon ve Reynolds sayısı arttıkça ortalama yüzey sürtünme katsayısı artmaktadır. Sudaki maksimum sapma 1750 Reynolds sayısında %9,1'dir. CuO-Su konsantrasyonlarındaki maksimum sapma 1750 Reymolds sayısında %6,3'tür.

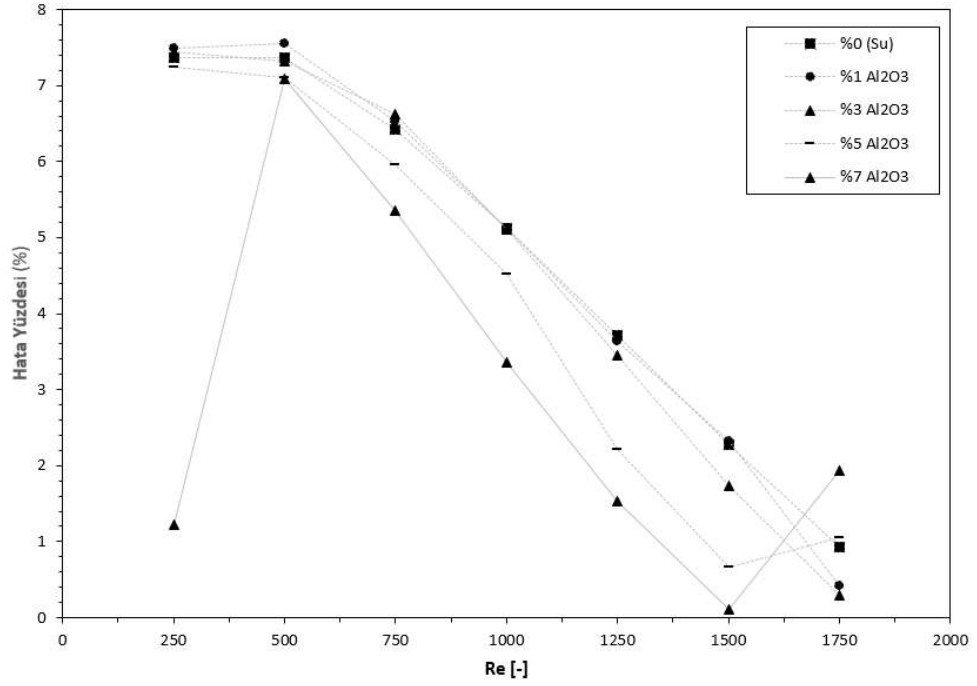


Şekil 4.5. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Basınç Kaybı Değişimi

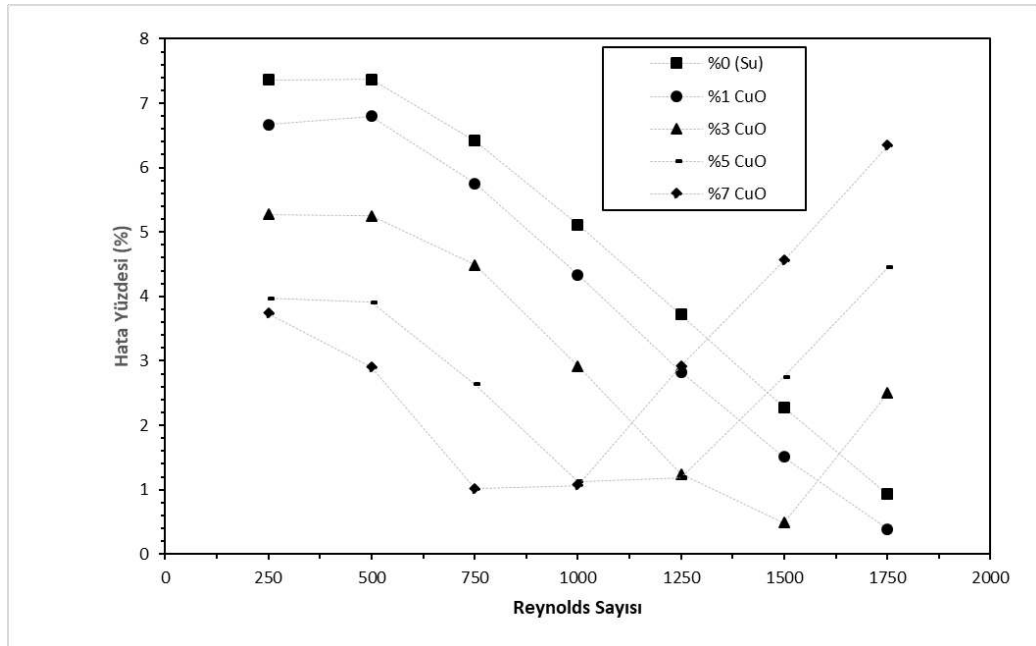


Şekil 4.6. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda CuO -Su nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Basınç Kaybı Değişimi

Basınç kaybı, giriş ve çıkış düzlemleri arasındaki ortalama basınç farkını ifade etmektedir. Al_2O_3 -su, CuO-Su konsantrasyonlarına ve suya ait değerler incelendiğinde Reynolds sayısı ve konsantrasyon arttıkça basınç kayıplarının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Doğrulan Çözücüyle Elde Edilen Sonuçların (Al_2O_3) (Elsebay vd., 2016) Sonuçları İle Kıyaslanması

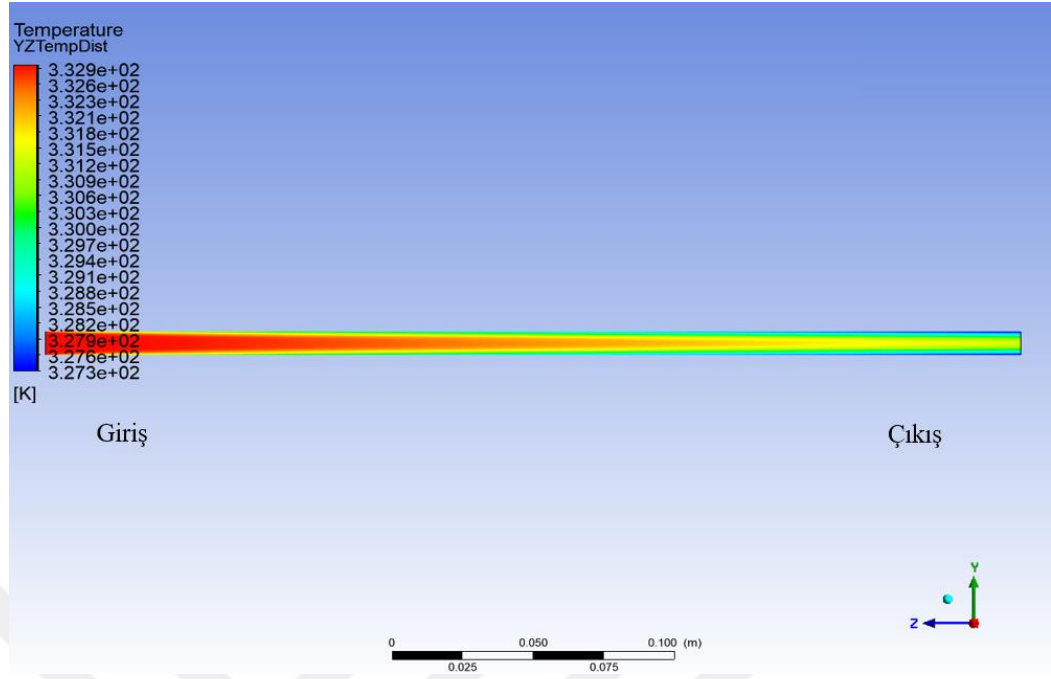


Şekil 4.8. Doğrulan Çözücüyle Elde Edilen Sonuçların (CuO) (Elsebay vd., 2016) Sonuçları İle Kıyaslanması

Referans çalışma(Elsebay vd., 2016) ve bu tez çalışması kıyaslandığında Al_2O_3 -Su nanoakışkanın ortalama ısı taşınım katsayısındaki maksimum sapma %1 konsantrasyonda ve 500 Reynolds sayısında %7,6 olarak bulunmuştur. CuO-Su için maksimum sapma değeri 500 Reynolds sayısında ve %1 konsantrasyonda %6,8 olarak elde edilmiştir. Suyun çözümünde maksimum hata değeri 500 Reynolds sayısında %7,4'tür.

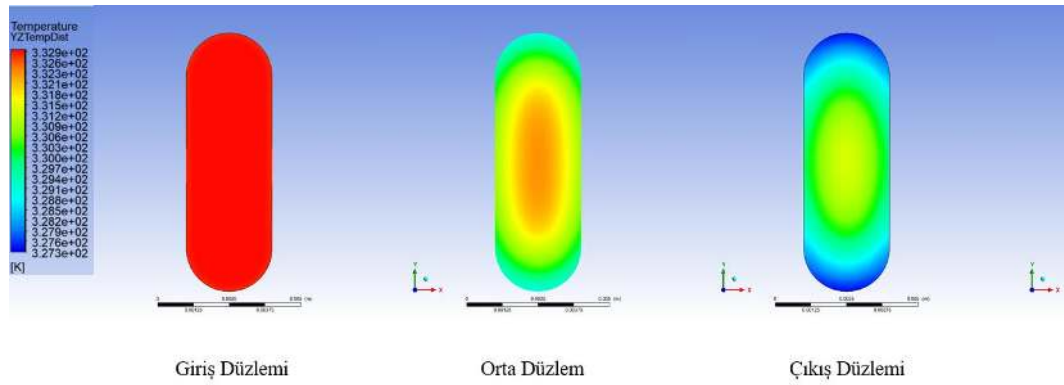
4.2. GNP Sonuçları

Karbon tabanlı nanoparçacıklar, metal veya metal oksit nanoparçacıklar ile kıyaslandığında yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Bu özellik sayesinde düşük konsantrasyonda yüksek ısı taşınım katsayısı elde etmek mümkün hale gelmektedir. Bu tezde ısı verimi ve hidrodinamik verimi iyileştirmek ve böylelikle yüksek verimli radyatörler elde etmek için karbon tabanlı bir nanoparçacık olan GNP ile çalışılmıştır. Sonuçların doğruluğunu arttırmak için deneysel olarak ölçülmüş ve sıcaklığa bağlı termofiziksel özelliklerle çalışılmıştır. %0,079-%0,27 aralığında düşük konsantrasyonda çözümler gerçekleştirilmiştir. Yüksek konsantrasyonun teorik olarak daha iyi ısı taşınımı sağlayacak olması beklenmekte iken, sürtünmenin artmasından dolayı pompa gücünün artması dikkate alınması gereken bir durumdur. Bu yüzden bu konuda bir optimizasyon yapılması gerekmektedir. Su bazlı GNP çözümünde kolay uygulanabilirlik ve hızlı sonuç alma özelliğinden dolayı tek fazlı akış yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 4.9'da %0,27 GNP-su nanoakışkan konsantrasyonunun 60°C giriş sıcaklığında 1750 Reynolds sayısındaki yz düzlemindeki sıcaklık dağılımı vermiştir.

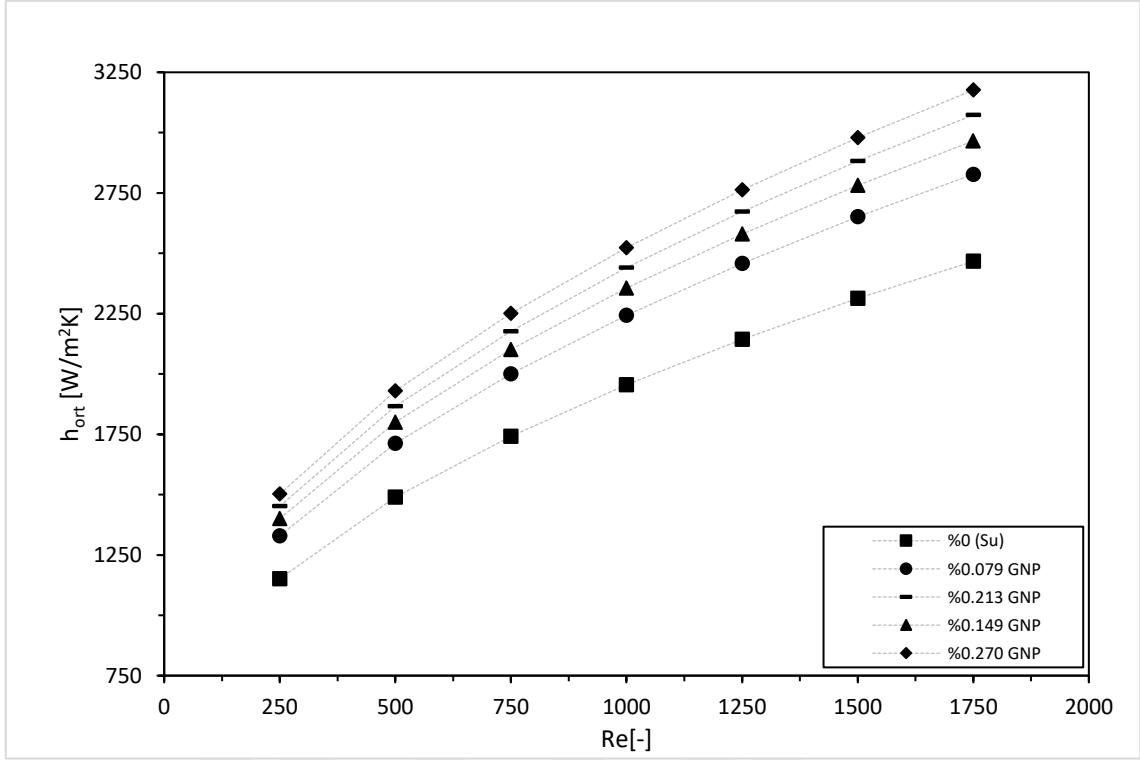


Şekil 4.9. %0,27 GNP-su Nanoakışkan Konsantrasyonunun 60°C Giriş Sıcaklığında 1750 Reynolds Sayısındaki yz Düzlemindeki Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.10'da %0,27 GNP-su nanoakışkan konsantrasyonunun 60°C giriş sıcaklığında 1750 Reynolds sayısındaki xy düzlemindeki giriş düzlemi, orta düzlem ve çıkış düzleminin sıcaklık dağılımı verilmiştir.

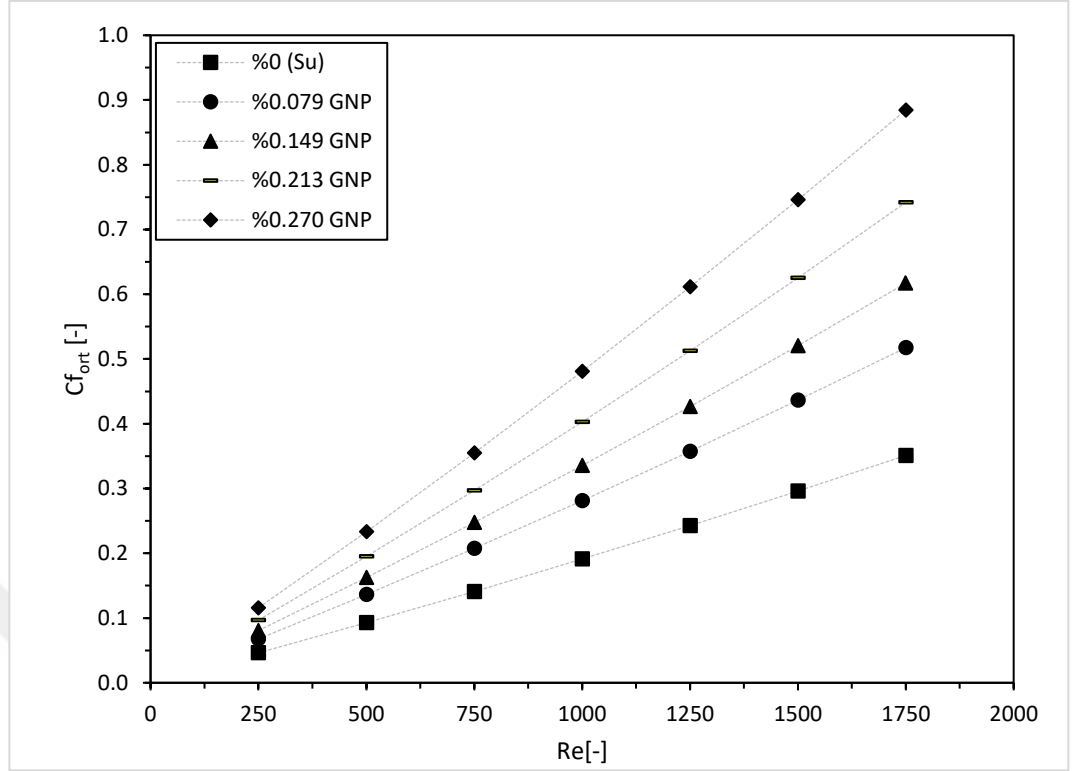


Şekil 4.10. %0,27 GNP-su Nanoakışkan Konsantrasyonunun 60°C Giriş Sıcaklığında 1750 Reynolds Sayısındaki xy Düzlemindeki Giriş Düzlemi, Orta Düzlem ve Çıkış Düzleminin Sıcaklık Dağılımı



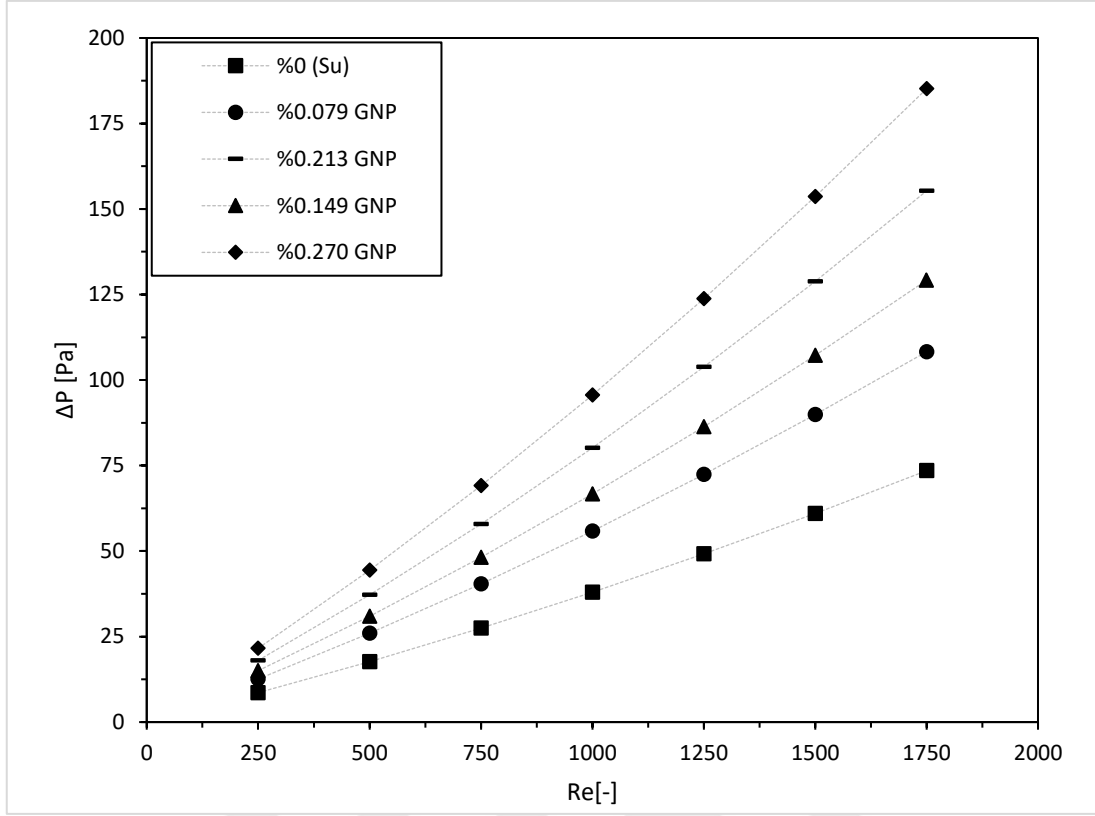
Şekil 4.11. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Isı Transfer Katsayısı Değişimi

GNP-su nanoakışkanı için farklı konsantrasyonlara ait ortalama ısı taşınım katsayısı verileri incelediğinde taşınım katsayısının Reynolds sayısı ve konsantrasyonla doğru orantılı olduğu gözlemlenmektedir. Isı taşınım katsayısının 250-500 Reynolds sayısı aralığında yüksek bir ivmeleme yapmasına rağmen yüksek Reynolds sayıları için ivmelenme azalmıştır.



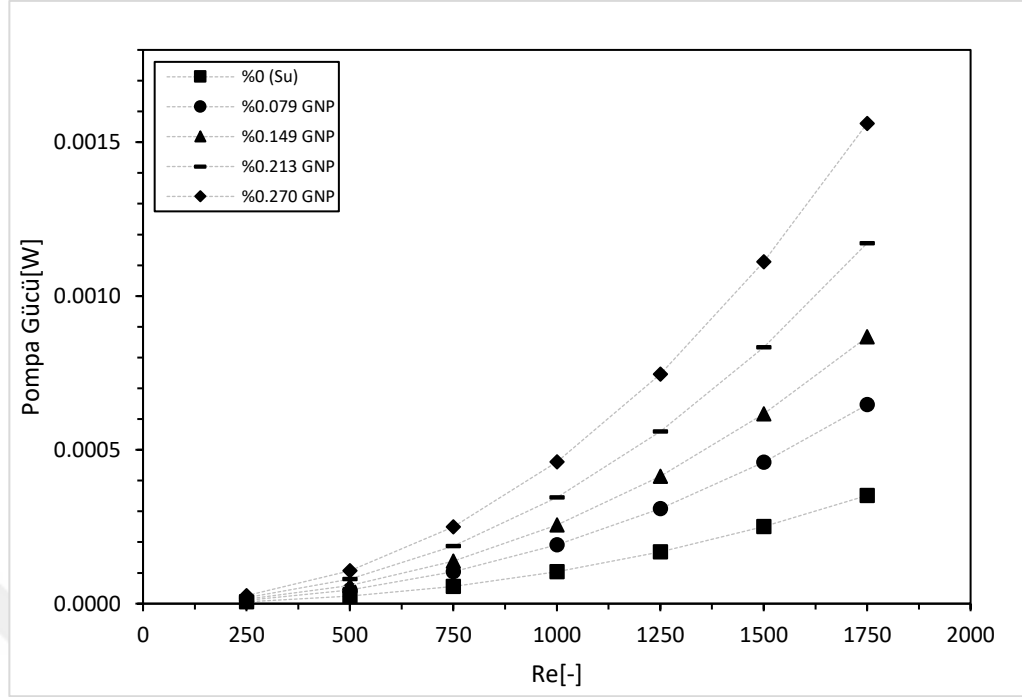
Şekil 4.12. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Yüzey Sürtünme Katsayısı Değişimi

GNP-su nanoakışkanının ortalama sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ve konsantrasyona göre değişimi incelendiğinde, ortalama yüzey sürtünme katsayısında Reynolds sayısına ve konsantrasyona bağlı olarak lineer bir şekilde artış gözlemlenmektedir.



Şekil 4.13. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Basınç Kaybı

Ortalama ısı taşınım katsayısında olduğu gibi, ortalama yüzey sürtünme katsayısı ve akış geometrisinden kaynaklı giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı Reynolds sayısı ve konsantrasyon ile doğru orantılıdır. Yüksek Reynolds sayılarında ve konsantrasyonlarda ısı taşınımının yükselmesine rağmen basınç kayıplarının da artması ihtiyaç duyulan pompa gücünü arttırmaktadır. Pompa gücünün de yükselmesiyle gereken enerji miktarı artmaktadır. Bu noktada ısı taşınımının getirdiği fayda, basınç kaybından kaynaklı negatif etkiden fazla olmalı ve sonuçlar değerlendirilip uygun konsantrasyon ve Reynolds sayısı belirlenmelidir.



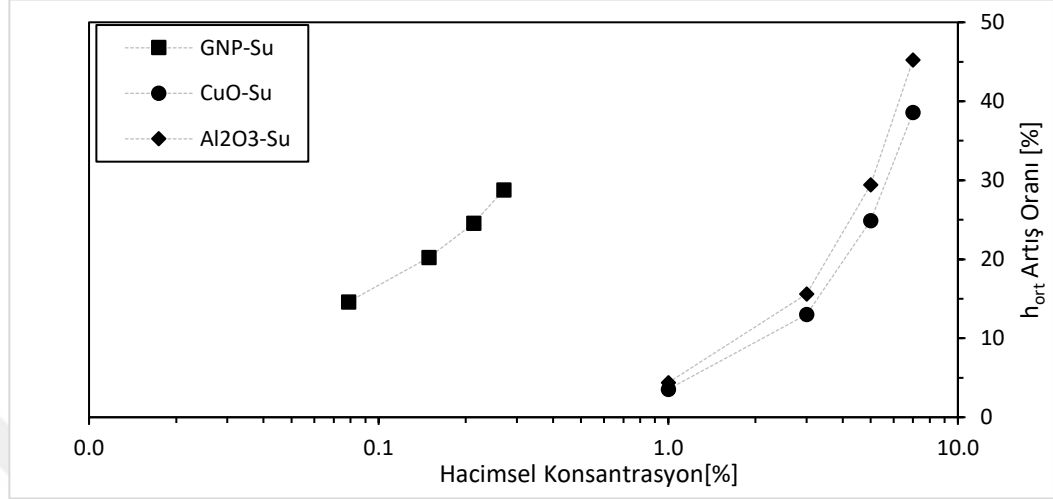
Şekil 4.14. Farklı Hacimsel Konsantrasyonlarda GNP-su Nanoakışkanının Reynolds Sayısına Göre Pompa Gücü İhtiyacı

Pompa gücü grafiği incelendiğinde güç ihtiyacı konsantrasyon ve Reynolds sayısı ile logaritmik olarak artmaktadır. %0,27 GNP-su konsantrasyonu 1750 Reynolds sayısında suya göre kıyaslandığında ısı taşınım katsayısında %28,8 iyileşme sağlanmıştır. Basınç kaybında %152 oranında artış meydana gelmiştir. Pompa gücünde ise %344 oranında artış gerçekleşmiştir. Özet bilgiler Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. GNP-su Nanoakışkanının Konsantrasyona Göre Özellik Değişimi ($Re=1750$, $T_{giriş}=60$ °C)

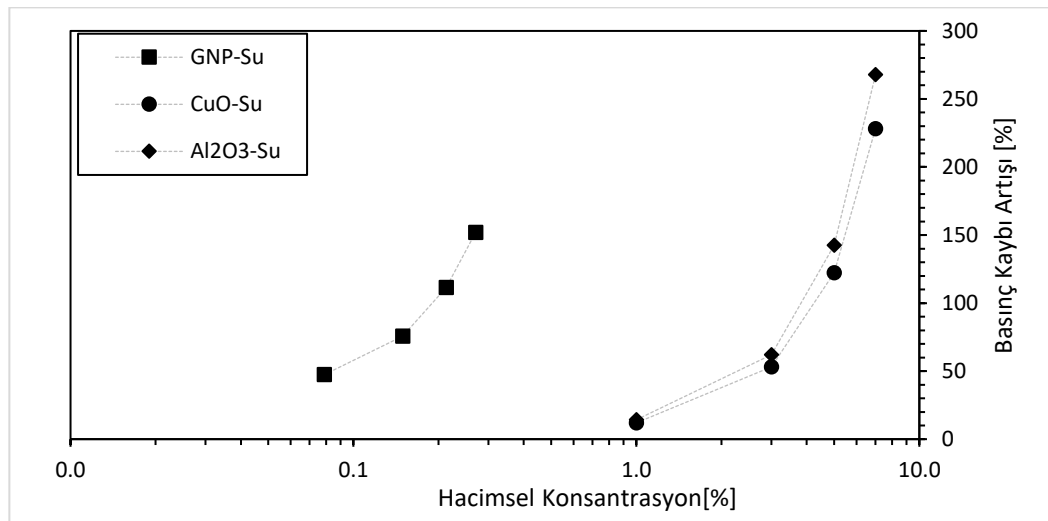
ϕ [%]	%0	%0,079	%0,149	%0,213	%0,270
Re [-]	1750	1750	1750	1750	1750
h_{ort} [W/m ² K]	2466,7	2827,2	2965,4	3072,8	3176,2
ΔP [Pa]	73,5	108,3	129,2	155,3	185,2
Güç [W]	0,00035	0,00065	0,00087	0,00117	0,00156
Δh_{ort} [%]	0	14,6	20,2	24,6	28,8
ΔP	0	47,3	75,8	111,3	151,9
Değişimi [%]					
$\Delta Güç$ [%]	0	83,9	146,4	233,3	344

GNP-su, Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyonlarının ortalama ısı taşınım katsayısının suya göre değişim grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.



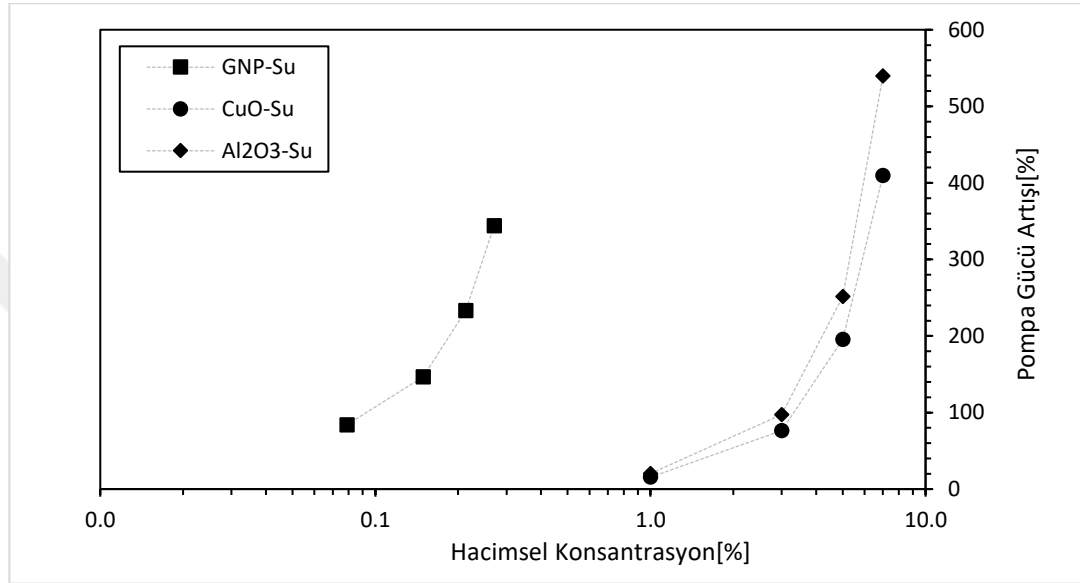
Şekil 4.15. GNP-su, Al_2O_3 -Su ve CuO-Su Nanoakışkanlarının Hacimsel Konsantrasyonlarının Ortalama Isı Transfer Katsayısının Suya Göre Artış Oranı ($Re=1750$, $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

GNP-su nanoakışkanının $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığında 1750 Reynolds sayısında ve %0,079 konsantrasyonunda suya kıyasla sağladığı ortalama ısı transfer katsayısının %14,6'lık artışını Al_2O_3 -Su ve CuO-Su yaklaşık olarak %3 konsantrasyonda sağlamaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda GNP'nin düşük konsantrasyonda bile avantajı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.16. GNP-su, Al_2O_3 -Su ve CuO-Su Nanoakışkanlarının Hacimsel Konsantrasyonlarının Suya Göre Basınç Kayıp Artışı ($Re=1750$, $T_{\text{giriş}}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

GNP-su nanoakışkanının 60 °C giriş sıcaklığında 1750 Reynolds sayısında ve %0,079 konsantrasyonunda sağladığı suya kıyasla ortalama ısı transfer katsayısı artışına karşılık gelen basınç kaybı artışı %47,3 iken Al_2O_3 -Su basınç kaybı artışı %61,9 ve CuO-Su basınç kaybı artışı %53,1'dir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda basınç düşüşü içinde GNP'nin avantajı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.17. GNP-su, Al_2O_3 -Su ve CuO-Su Nanoakışkanlarının Hacimsel Konsantrasyonlarının Pompa Gücü İhtiyacının Suya Göre Artışı ($Re=1750$, $T_{giriş}=60$ °C)

GNP-su nanoakışkanının 60 °C giriş sıcaklığında 1750 Reynolds sayısında ve %0,079 konsantrasyonunda suya kıyasla sağladığı ortalama ısı transfer katsayısı artışına karşılık gelen pompa gücü ihtiyacı %83,9 artarken Al_2O_3 -Su nanoakışkanının pompa gücü artış ihtiyacı %97,1 ve CuO-Su nanoakışkanının pompa gücü artış ihtiyacı %76,3'tür. Pompa gücü ihtiyacı artışı göz önünde bulundurulduğunda GNP'nin avantajı ortaya çıkmaktadır.

4.3. Performans Katsayısı Sonuçları

Isı transfer uygulamalarında gerçekleştirilen en yaygın konu kanal içinde tek fazlı zorlanmış akıştır. Performans katsayıları yardımıyla seçilen nanoakışkan konsantrasyonlarının baz akışkana göre karşılaştırma yapıp ısı transfer performanslarını ortaya çıkmaktadır(Minea, 2016). Laminer ve türbülanslı akışların değerlendirilmesinde nanoakışkanın performansı için karşılaştırma kriterini belirlemek, nanoakışkanın baz

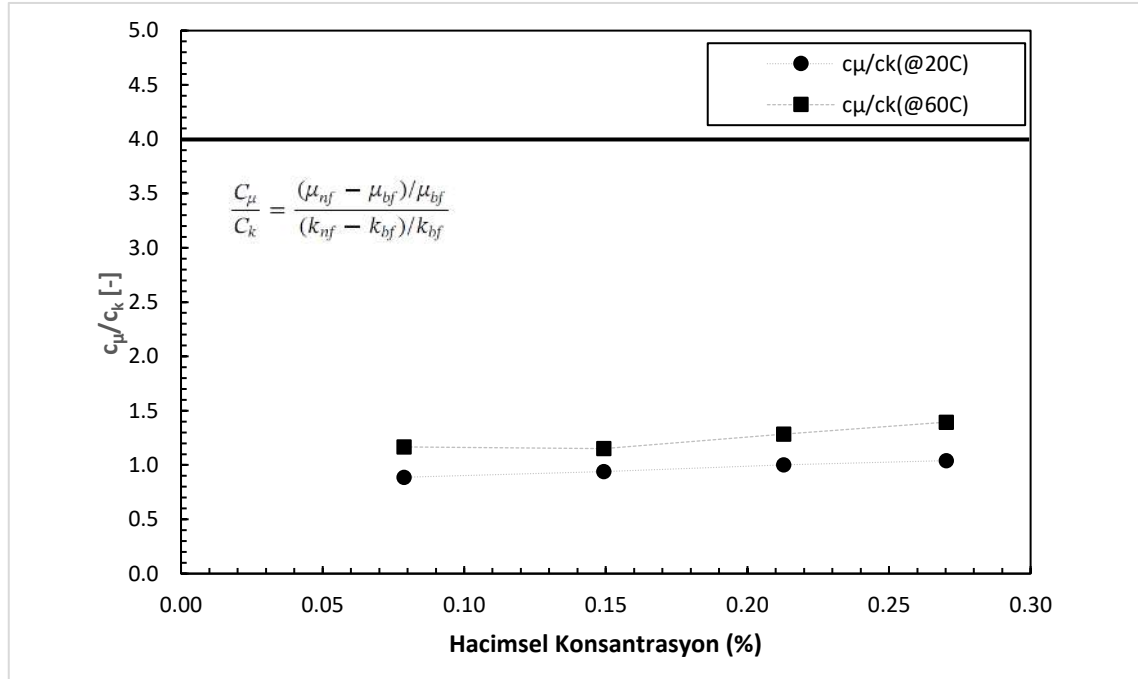
akışkana göre ısı transfer verimini belirlemek ve yapılacak tasarımla ısı transfer katsayısını belirleme olmak üzere 3 farklı konu vardır(Yu vd., 2012). Soğutucu akışkan olarak GNP kullanılan radyatörün performans ölçümü c_μ/c_k oranı, PEC ve Mo sayısı oranı olmak üzere 3 farklı ölçüde değerlendirilmiştir. Performans katsayısı hesaplama yöntemi akışkanla ilgili basit ve hızlı bir şekilde fikir sahibi olunmasını sağlamaktadır. Bilgisayar termal modeli çözdürmek uzun zaman alabilmektedir. Akışkan her performans kriterini başarılı bir şekilde tamamlamayabilir. Bazı konularda performansı ve davranışı yeterli olan akış diğer konularda iyi olmayabilir.

4.3.1. c_μ/c_k

c_μ/c_k karşılaştırması viskozite artışının ısı iletkenlik artışına oranını belirtmektedir. Tam gelişmiş laminar akışlar için kullanılmaktadır.

$$\frac{c_\mu}{c_k} = \frac{(\mu_{nf} - \mu_{bf})/\mu_{bf}}{(k_{nf} - k_{bf})/k_{bf}} \quad (4.1)$$

Isı transfer akışkanlarında c_μ/c_k oranının 4'ten küçük olması beklenmektedir(Prasher vd., 2006). Viskozitenin ısı iletimine oranı 4'ten büyük olursa nanoakışkanın termal performansı baz akışkana göre avantajlı olmamaktadır.



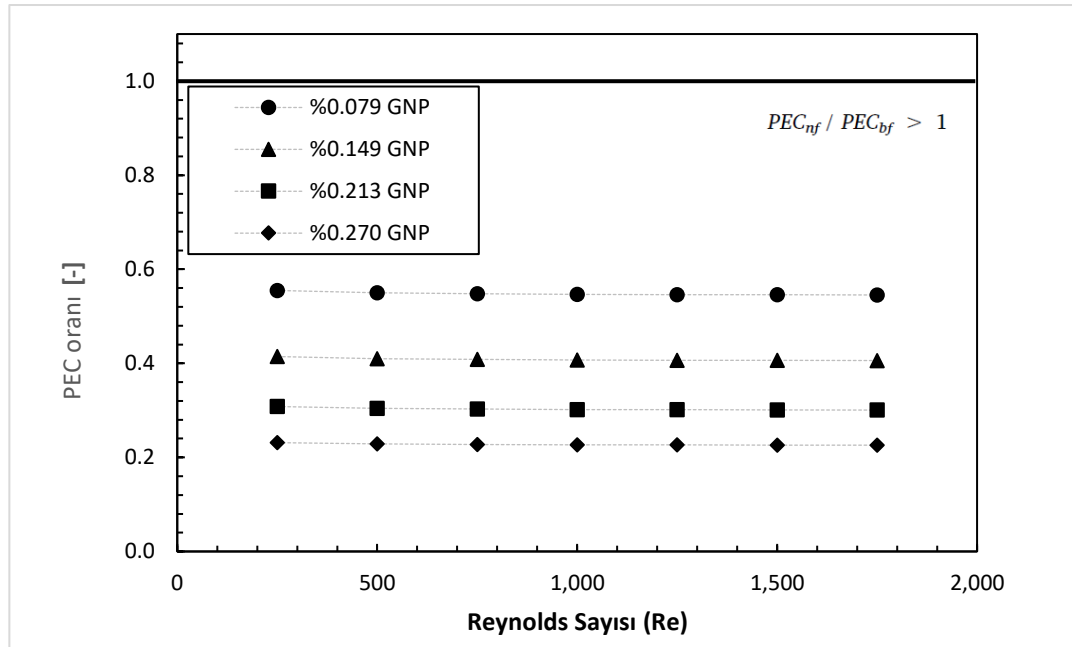
Şekil 4.18. c_μ/c_k Oranı

c_{μ}/c_k oranı incelendiğinde 20 °C soğutucu akışkan sıcaklığında %0,08 GNP konsantrasyonda viskozitenin ısı iletimine oranı 0,89 iken %0,27 GNP konsantrasyonunda viskozitenin ısı iletimine oranı 1,04'e yükselmektedir. Soğutucu akışkan 60 °C de %0,08 GNP konsantrasyonda viskozitenin ısı iletimine oranı 1,17 iken %0,27 GNP konsantrasyonda viskozitenin ısı iletimine oranı 1,39'a çıkmaktadır. Konsantrasyon oranının artması ve sıcaklığın artması viskozitenin ısı iletimine oranını olumsuz etkilemektedir. Sıcaklığın artmasının negatif etkisi ısı iletimi değişiminin viskozite değişiminde daha az olmasıdır. Yine de bu kritere göre, incelenen akışkanların tümü $c_{\mu}/c_k < 4$ koşulunu sağladığından, suya göre daha avantajlı olarak belirlenmişlerdir.

4.3.2. Performans Geliştirme Kriteri (PEC)

PEC, laminer ve türbülanslı akışlar için iletilen ısı ve pompa gücü karşılaştırmasında kullanılmaktadır.

$$PEC_{oranı} = \frac{PEC_{nf}}{PEC_{bf}} = \frac{\frac{\dot{m}C_{p,nf}\Delta T}{\dot{V}\Delta p}}{\frac{\dot{m}C_{p,bf}\Delta T}{\dot{V}\Delta p}} \quad (4.2)$$



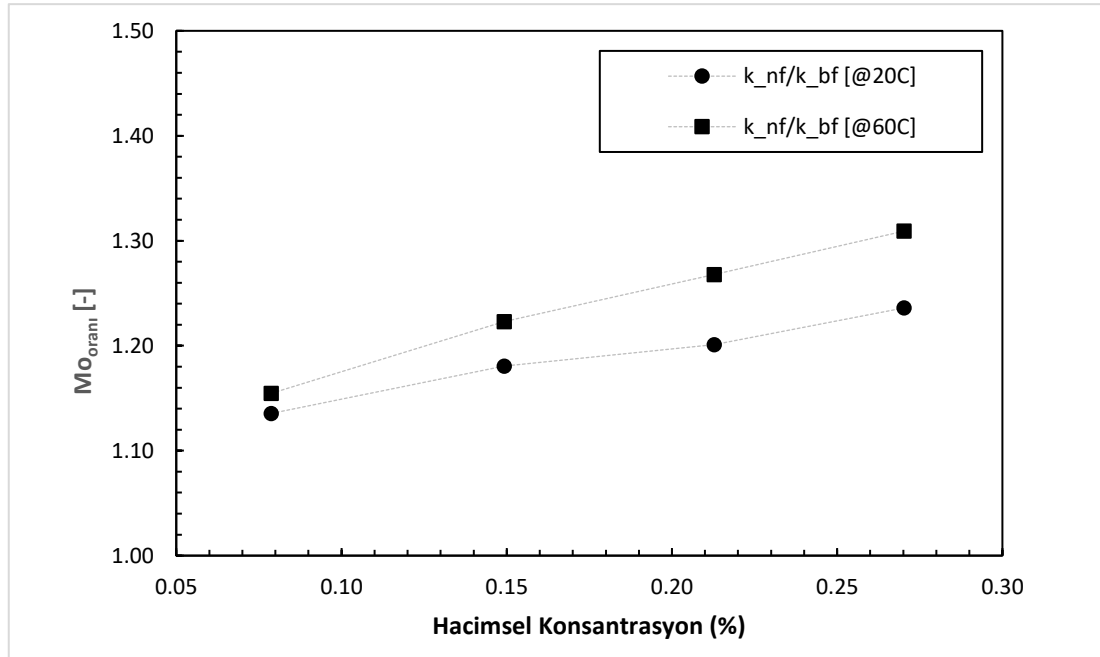
Şekil 4.19. Performans Geliştirme Kriteri (PEC) Oranı

PEC oranı değeri konsantrasyonun artmasıyla artmaktadır. Re sayısının artmasıyla küçük azalmalar gerçekleşmektedir. %0,08 GNP konsantrasyonda 1750 Re sayısında PEC oranı 0,226'dır. %0,27 GNP konsantrasyonda 250 Re sayısında PEC oranı 0,555'dir. Bu kritere göre, incelenen akışkanların tümü $PEC_{nf} / PEC_{bf} > 1$ koşulunu sağlamadığından, suya göre daha avantajlı değildir.

4.3.3. Mouromtseff Sayısı Oranı

Mouromtseff sayısı (Mo), ısı transfer akışkanlarının termal performanslarını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Mo sayısı oranı (Mo_{nf}/Mo_{bf}) ise baz akışkana göre nanoakışkanın genel etkinliğini belirlemektedir. Mo sayısı oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Tam gelişmiş akışlar için geçerlidir. Mo sayısı oranı ne kadar büyük olursa nanoakışkanın termal performansının baz akışkana göre o kadar arttırıldığını göstermektedir. Mo sayısı oranı 20 °C ve 60 °C olmak üzere 2 farklı sıcaklık için hesaplanmıştır. Isı transfer akışkanlarında bu oranın 1'den büyük olması beklenmektedir(Elcioglu et al., 2020).

$$Mo_{oranı} = \frac{Mo_{nf}}{Mo_{bf}} = \frac{h_{nf}}{h_{bf}} = \frac{k_{nf}}{k_{bf}} \quad (4.3)$$



Şekil 4.20. Mouromtseff Sayısı (Mo) Oranı Değerlendirmesi

Mo sayısı oranı incelendiğinde 20°C soğutucu akışkan sıcaklığında %0,08 GNP konsantrasyonda ısı iletim katsayısı 1,14 kat artarken %0,27 GNP konsantrasyonda ısı iletim katsayısı 1,24 kat arttırılmıştır. Soğutucu akışkan sıcaklığı 60 °C de %0,08 GNP konsantrasyonda ısı iletim katsayısı 1,15 kat artarken %0,27 GNP konsantrasyonunda ısı iletim katsayısı 1,31 kat arttırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde soğutucu akışkan sıcaklığı ve karışım oranı arttıkça ısı iletim performansı iyileşmektedir. Bu kritere göre, incelenen akışkanların tümü $Mo_{nf}/Mo_{bf} > 1$ koşulunu sağladığından, suya göre daha avantajlı olarak belirlenmişlerdir.

Bu tezde, farklı konsantrasyonlardaki nanoakışkanların (GNP-su) baz akışkanına(su) göre performansını belirlemek için PEC oranı, c_{μ}/c_k ve Mo sayısı oranı olmak üzere 3 farklı kritere göre değerlendirilmiştir. GNP-su konsantrasyonları c_{μ}/c_k ve Mo sayısı oranı kriterlerine göre başarılı olmasına rağmen PEC oranı kriteri için başarılı değildir. c_{μ}/c_k ve Mo sayısı oranı sadece termofiziksel özelliklere bağlı iken PEC oranı analizden elde edilen basınç kaybı ve giriş ve çıkış sıcaklık farkı gibi değerlerden elde edilmiştir. Görüldüğü üzere nanoakışkanlar her performans kriteri bağlamında başarılı olmayabilir. Farklı kriterler, farklı nanoakışkanları işaret edebilir.

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında bir radyatör sistemi içerisinde nanoakışkan ısıl ve hidrodinamik performansı sistematik nümerik analizler ile incelenmiştir. Doğası gereği nanoakışkanlar iki bileşenden oluştukları için iki fazlı akış olarak adlandırılırlar. Hem tek fazlı akışın işlem süresinin hızlı olması hem de referans makalede de olduğu üzere çalışılan nanoakışkan tek fazlı çözüm yöntemiyle çözülmüştür. Akışkanın tüp içinde sıkıştırılamaz olduğu kabulü yapılmış ve nanoparçacıkları su için düzgün dağılmış olduğu kabulü üzerinden ilerlenmektedir. ANSYS Fluent programı içinde referans makaledekine (Elsebay vd., 2016) uygun ağ yapısı elde edilmiştir. Sınır koşullar referans makaledeki gibi oluşturularak çözücü girdileri sağlanmıştır. Referans makaledeki koşullar yerine getirilerek bir çözücü elde edilmiştir. Çözücü doğrulanırken Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanlarıyla 250-1750 Reynolds sayısı aralığında %1-7 arası farklı konsantrasyonlarda analiz yapılmıştır. Doğrulama çalışmaları sonucunda yapılan karşılaştırmada, elde edilen sonuçlar ile (Elsebay vd., 2016) sunduğu sonuçlar arasındaki maksimum farklılık %7,6'dır.

Çözücü doğrulandıktan sonra bu çözücüde ölçüm sonucu elde edilen termofiziksel özellikler girilerek GNP-su nanoakışkanı için çözümler elde edilmiştir. Çözüm koşulları, %0,079 ila %0,27 konsantrasyon aralığında GNP-su nanoakışkanıdır. Reynolds sayısı 250-1750 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde su bazlı %0,27 konsantrasyondaki GNP nanoakışkanın suya göre ısı transfer iyileşmesi %28,8'dir. Basınç kaybının ise %152 oranında arttığı gözlemlenmektedir. Konsantrasyon oranı arttıkça ısı transfer iyileşmesi gerçekleşmektedir. Fakat sürtünme kayıplarının artmasıyla basınç düşüşleri ciddi mertebelere ulaşmaya başlayacaktır. Bu yüzden GNP konsantrasyonunu optimum noktada tutulmalıdır.

Analizlerin ardından üç farklı performans katsayısına tabi tutulmuştur. İki performans kriteri temelinde suya kıyasla daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. c_{μ}/c_k oranı kriterine göre farklı konsantrasyonlardaki GNP-su nanoakışkanı suya göre avantajlıdır. Konsantrasyon ve sıcaklık azaldıkça viskozitenin ısıl iletkenliğe oranı azalmaktadır. PEC oranı kriterine göre farklı konsantrasyondaki nanoakışkanlar suya göre avantajlı değildir. Konsantrasyonun artmasıyla PEC oranı artmakta fakat Reynolds sayısı arttıkça yavaş bir şekilde PEC oranı azalmaktadır. Su bazlı GNP nanoakışkanları suya göre avantajlı Mouromtseff sayısı oranına göre değerlendirildiğinde GNP-su

konsantrasyonları öne çıkmaktadır. Mouromtseff sayısı oranı, konsantrasyon ve sıcaklıkla doğru orantılıdır.

Aynı akış geometrisi, alanı ve giriş sıcaklığında %0,27 GNP-su konsantrasyonunda suya göre ısı taşınım katsayısı 1,288 kat artmıştır. Al_2O_3 ve CuO için bu ısı taşınım katsayısını elde etmek için %5 Al_2O_3 -su ve %5,5 CuO-su konsantrasyonları kullanılması gerekmektedir. Bu iyileşme için suya göre basınç kaybı oranı 1,52 kat artmıştır. Diğer yandan aynı soğutma oranında ve giriş-çıkış sıcaklık farkında tüp boyutu küçültülmek istendiğinde tüp uzunluğunun GNP-su için %16,4, Al_2O_3 -su için %11,3 ve CuO için %11,4 oranında küçültülmesi sağlanmıştır.



6. GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu tez kapsamında sistematik nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, incelenmesinin gerekli olduğu düşünülen konular burada detaylandırılmıştır. Sayısal modellemenin daha doğru sonuç vermesi için farklı konsantrasyonlarda, giriş sıcaklıklarında ve farklı koşullarda test yapmak faydalı olacaktır. (Kakavand ve Molana, 2017) karbon nanotüp ve bor nitrür ile düz tüp ve döndürülmüş tüp geometrisinde çalışmıştır. Döndürülmüş tüp akış geometrisinde türbülanslı akışta daha iyi termal performans aldığını belirtmiştir. Sonraki çalışmalarda GNP için döndürülmüş tüp geometrisi incelenebilir. Ayrıca akış yolunda türbülans oluşturmak ısı transfer iyileştirme yöntemlerinden biridir. Soğutucu akışkanın geçtiği geometrinin içine döndürülmüş (tek döndürülmüş, çift döndürülmüş) yapılar eklenerek türbülans yaratılabilir ve ısı transfer iyileşmesi sağlanabilir (Maradiya vd., 2018).

Nümerik analizlerde sonuçlar elde edildikten sonra giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı, duvar sıcaklığı, giriş basıncı ve çıkış basıncı değerleri elde edilmekte ve bu değerlerden ısı transfer katsayısı ve Nu sayısı hesaplanmaktadır. Fluent'te verileri elde ederken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır. Bu çalışmada giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı, duvar sıcaklığı, giriş basıncı ve çıkış basıncı değerleri yüzey ortalama (facet average) komutu ile alınmaktadır. Değerler elde edilirken yüzey ortalama (facet average), alan ağırlıklı ortalama (area-weighted average), debi ağırlıklı ortalama (mass-weighted average), ve merkez ortalama (vertex average) (ANSYS Fluent Theory Guide 15, 2015) olmak üzere 4 farklı ortalama değer elde edilebilmektedir. Yüzey ortalama (facet average) komutu ile ortalama değerler elde edilirse değerler ağ yapısına bağlı olmaktadır. Alan ağırlıklı ortalama (area-weighted average) komutu ile değer alınırsa her bir hücre boyutuna göre ortalama katkı sağlamaktadır. Yani büyük hücre büyük katkı küçük hücre küçük katkı sağlamakta ve böylelikle sonuç hücreden bağımsız olmaktadır. Aynı durum debi ağırlıklı ortalama (mass-weighted average) ve merkez ortalama (vertex average) için de geçerlidir. Yüksek debi geçen hücrenin ortalama katkı daha büyük ve merkez nokta değeri yüksek olanın katkısı daha fazladır. Böylelikle elde edilen sonuçlar hücre boyutundan bağımsız olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abbas, F., Ali, H. M., Shah, T. R., Babar, H., Janjua, M. M., Sajjad, U., ve Amer, M. (2020). Nanofluid: Potential evaluation in automotive radiator. İçinde *Journal of Molecular Liquids* (C. 297). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112014>
- Akhavan-Zanjani, H., Saffar-Avval, M., Mansourkiaei, M., Sharif, F., ve Ahadi, M. (2016). Experimental investigation of laminar forced convective heat transfer of Graphene-water nanofluid inside a circular tube. *International Journal of Thermal Sciences*, 100, 316-323. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.10.003>
- Alawi, O. A., Sidik, N. A. C., Xian, H. W., Kean, T. H., ve Kazi, S. N. (2018). Thermal conductivity and viscosity models of metallic oxides nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 1314-1325. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.133>
- Ali, A. R. I., ve Salam, B. (2020). A review on nanofluid: preparation, stability, thermophysical properties, heat transfer characteristics and application. İçinde *SN Applied Sciences* (C. 2, Sayı 10). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03427-1>
- Ali, N., Bahman, A. M., Aljuwayhel, N. F., Ebrahim, S. A., Mukherjee, S., ve Alsayegh, A. (2021). Carbon-based nanofluids and their advances towards heat transfer applications—a review. İçinde *Nanomaterials* (C. 11, Sayı 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nano11061628>
- Alosious, S., Sarath, R., Nair, A. R., ve Krishnakumar, K. (2017). Experimental and numerical study on heat transfer enhancement of flat tube radiator using Al₂O₃ and CuO nanofluids. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 53(12), 3545-3563. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-2061-0>
- ANSYS Fluent Theory Guide 15. (2015).
- Awais, M., Ullah, N., Ahmad, J., Sikandar, F., Ehsan, M. M., Salehin, S., ve Bhuiyan, A. A. (2021). Heat transfer and pressure drop performance of Nanofluid: A state-of-the-art review. İçinde *International Journal of Thermofluids* (C. 9). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100065>
- Bahiraei, M., Heshmatian, S., ve Moayedi, H. (2019). Artificial intelligence in the field of nanofluids: A review on applications and potential future directions. İçinde *Powder Technology* (C. 353, ss. 276-301). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.034>
- Bakhtiari, R., Kamkari, B., Afrand, M., ve Abdollahi, A. (2021). Preparation of stable TiO₂-Graphene/Water hybrid nanofluids and development of a new correlation for thermal conductivity. *Powder Technology*, 385, 466-477. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.010>
- Chandrasekar, M., Suresh, S., ve Chandra Bose, A. (2010). Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(2), 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.10.022>

- Choi, S. U. S., ve Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *Nano Energy*, 2(5), 845-855. <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2013.02.007>
- Colangelo, G., Favale, E., Miglietta, P., de Risi, A., Milanese, M., ve Laforgia, D. (2015). Experimental test of an innovative high concentration nanofluid solar collector. *Applied Energy*, 154, 874-881. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.031>
- Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Thompson, L. J., ve Lee, S. (1997). *ENHANCED THERMAL CONDUCTIVITY THROUGH THE DEVELOPMENT OF NANOFLUIDS*.
- Elcioglu, E. B., Genc, A. M., Karadeniz, Z. H., Ezan, M. A., ve Turgut, A. (2020). Nanofluid figure-of-merits to assess thermal efficiency of a flat plate solar collector. *Energy Conversion and Management*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112292>
- Elsebay, M., Elbadawy, I., Shedid, M. H., ve Fatouh, M. (2016). Numerical resizing study of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *Applied Mathematical Modelling*, 40(13-14), 6437-6450. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.01.039>
- Gherasim, I., Roy, G., Nguyen, C. T., ve Vo-Ngoc, D. (2009). Experimental investigation of nanofluids in confined laminar radial flows. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(8), 1486-1493. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2009.01.008>
- Godson, L., Raja, B., Mohan Lal, D., ve Wongwises, S. (2010). Enhancement of heat transfer using nanofluids-An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 629-641. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.10.004>
- Hemmat Esfe, M., Hassani Ahangar, M. R., Rejvani, M., Toghraie, D., ve Hajmohammad, M. H. (2016). Designing an artificial neural network to predict dynamic viscosity of aqueous nanofluid of TiO₂ using experimental data. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75, 192-196. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.04.002>
- He, Z., Yan, Y., ve Zhang, Z. (2021). Thermal management and temperature uniformity enhancement of electronic devices by micro heat sinks: A review. *Energy*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119223>
- Ho, C. J., Liao, J. C., Li, C. H., Yan, W. M., ve Amani, M. (2019). Experimental study of cooling characteristics of water-based alumina nanofluid in a minichannel heat sink. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100418>
- Hussein, A. M., Bakar, R. A., ve Kadirgama, K. (2014). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2013.12.001>
- Iranmanesh, S., Mehrali, M., Sadeghinezhad, E., Ang, B. C., Ong, H. C., ve Esmaeilzadeh, A. (2016). Evaluation of viscosity and thermal conductivity of graphene nanoplatelets nanofluids through a combined experimental–statistical approach using respond surface methodology method. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 79, 74-80. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.10.004>

- Iranmanesh, S., Ong, H. C., Ang, B. C., Sadeghinezhad, E., Esmaeilzadeh, A., ve Mehrli, M. (2017). Thermal performance enhancement of an evacuated tube solar collector using graphene nanoplatelets nanofluid. *Journal of Cleaner Production*, 162, 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.175>
- Kakaç, S., ve Pramuanjaroenkij, A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(13-14), 3187-3196. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.02.006>
- Kakavand, H., ve Molana, M. (2017). A numerical study of heat transfer characteristics of a car radiator involved nanofluids. *Heat Transfer - Asian Research*. <https://doi.org/10.1002/htj.21292>
- Khan, T. A., ve Ahmad, H. (2019). CFD-Based Comparative Performance Analysis of Different Nanofluids Used in Automobile Radiators. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(6), 5787-5799. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03750-9>
- Kim, S., Tserengombo, B., Choi, S. H., Noh, J., Huh, S., Choi, B., Chung, H., Kim, J., ve Jeong, H. (2019). Experimental investigation of heat transfer coefficient with Al₂O₃ nanofluid in small diameter tubes. *Applied Thermal Engineering*, 146, 346-355. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.001>
- Koca, H. D., Doganay, S., Turgut, A., Tavman, I. H., Saidur, R., ve Mahbubul, I. M. (2018). Effect of particle size on the viscosity of nanofluids: A review. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 82, ss. 1664-1674). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.016>
- Kumar, A., Hassan, M. A., ve Chand, P. (2020). Heat transport in nanofluid coolant car radiator with louvered fins. *Powder Technology*, 376, 631-642. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.047>
- Lee, S., ve Choi, S. U. S. (1996). *Application of metallic nanoparticle suspensions in advanced cooling systems*. <https://doi.org/10.2172/829586>
- Maradiya, C., Vadher, J., ve Agarwal, R. (2018). The heat transfer enhancement techniques and their Thermal Performance Factor. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.10.001>
- Mercan, H. (2020). Thermophysical and rheological properties of hybrid nanofluids. İçinde *Hybrid Nanofluids for Convection Heat Transfer* (ss. 101-142). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819280-1.00003-3>
- Minea, A. A. (2016). Comparative study of turbulent heat transfer of nanofluids: Effect of thermophysical properties on figure-of-merit ratio. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 124(1), 407-416. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5166-z>
- Minea, A. A., ve Manca, O. (2017). Field-Synergy and Figure-of-Merit Analysis of Two Oxide–Water-Based Nanofluids’ Flow in Heated Tubes. *Heat Transfer Engineering*, 38(10), 909-918. <https://doi.org/10.1080/01457632.2016.1212569>
- Eastman, J. A. (1998, Kasım 20). *Novel applications exploiting the thermal properties of nanostructured materials*. (Conference) | OSTI.GOV. <https://www.osti.gov/biblio/11042>
- Onyiriuka, E. J. (2023). Predicting the accuracy of nanofluid heat transfer coefficient’s computational fluid dynamics simulations using neural networks. *Heat Transfer*. <https://doi.org/10.1002/htj.22833>

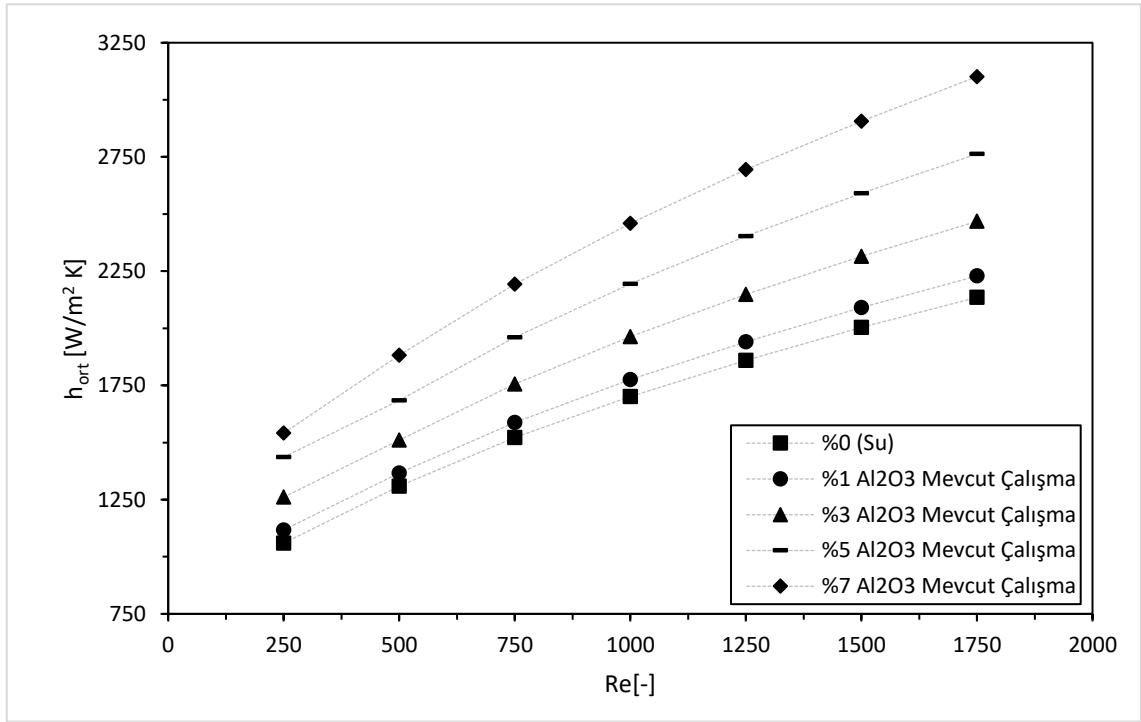
- Park, K. W., ve Pak, H. Y. (2002). Flow and heat transfer characteristics in flat tubes of a radiator. *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, 41(1), 19-40. <https://doi.org/10.1080/104077802317221429>
- Ponangi, B. R., Sumanth, S., Krishna, V., Seetharam, T. R., ve Seetharamu, K. N. (2018). Heat transfer analysis of radiator using graphene oxide nanofluids. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 346(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/346/1/012032>
- Prasher, R., Song, D., Wang, J., ve Phelan, P. (2006). Measurements of nanofluid viscosity and its implications for thermal applications. *Applied Physics Letters*, 89(13). <https://doi.org/10.1063/1.2356113>
- Samira, P., Saeed, Z. H., Motahare, S., ve Mostafa, K. (2015). Pressure drop and thermal performance of CuO/ethylene glycol (60%)-water (40%) nanofluid in car radiator. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32(4), 609-616. <https://doi.org/10.1007/s11814-014-0244-7>
- Satyaprasad, S., Rambabu, V., ve Ravibabu, S. (2020). Experimental investigation of radiator heat transfer efficiency using Water + Ethylene Glycol based Al₂O₃, SiC nanofluids. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 954(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/954/1/012031>
- Sergis, A., ve Hardalupas, Y. (2011). *Anomalous heat transfer modes of nanofluids: a review based on statistical analysis*. <http://www.nanoscalereslett.com/content/6/1/391>
- Sheikholeslami, M., ve Ganji, D. D. (2016). Nanofluid convective heat transfer using semi analytical and numerical approaches: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, 43-77. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.05.014>
- Shi, L., Zhang, S., Arshad, A., Hu, Y., He, Y., ve Yan, Y. (2021). Thermo-physical properties prediction of carbon-based magnetic nanofluids based on an artificial neural network. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 149). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111341>
- Sumanth, S., Babu Rao, P., Krishna, V., Seetharam, T. R., ve Seetharamu, K. N. (2018). Effect of carboxyl graphene nanofluid on automobile radiator performance. *Heat Transfer - Asian Research*, 47(4), 669-683. <https://doi.org/10.1002/htj.21335>
- Tijani, A. S., ve Sudirman, A. S. bin. (2018). Thermos-physical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al₂O₃/CuO based nanofluid as a coolant for car radiator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.083>
- Vajjha, R. S., Das, D. K., ve Namburu, P. K. (2010). Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31(4), 613-621. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2010.02.016>
- Wang, X. Q., ve Mujumdar, A. S. (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. İçinde *International Journal of Thermal Sciences* (C. 46, Sayı 1, ss. 1-19). <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2006.06.010>

- Yu, W., France, D. M., Timofeeva, E. V., Singh, D., ve Routbort, J. L. (2012). Comparative review of turbulent heat transfer of nanofluids. İçinde *International Journal of Heat and Mass Transfer* (C. 55, Sayı 21-22, ss. 5380-5396). <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.06.034>
- Yu, W., ve Xie, H. (2012). A review on nanofluids: Preparation, stability mechanisms, and applications. İçinde *Journal of Nanomaterials* (C. 2012). <https://doi.org/10.1155/2012/435873>
- <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=92vet=4>. (Erişim Tarihi: 20.06.2023)
- https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html. (Erişim Tarihi: 20.06.2023)

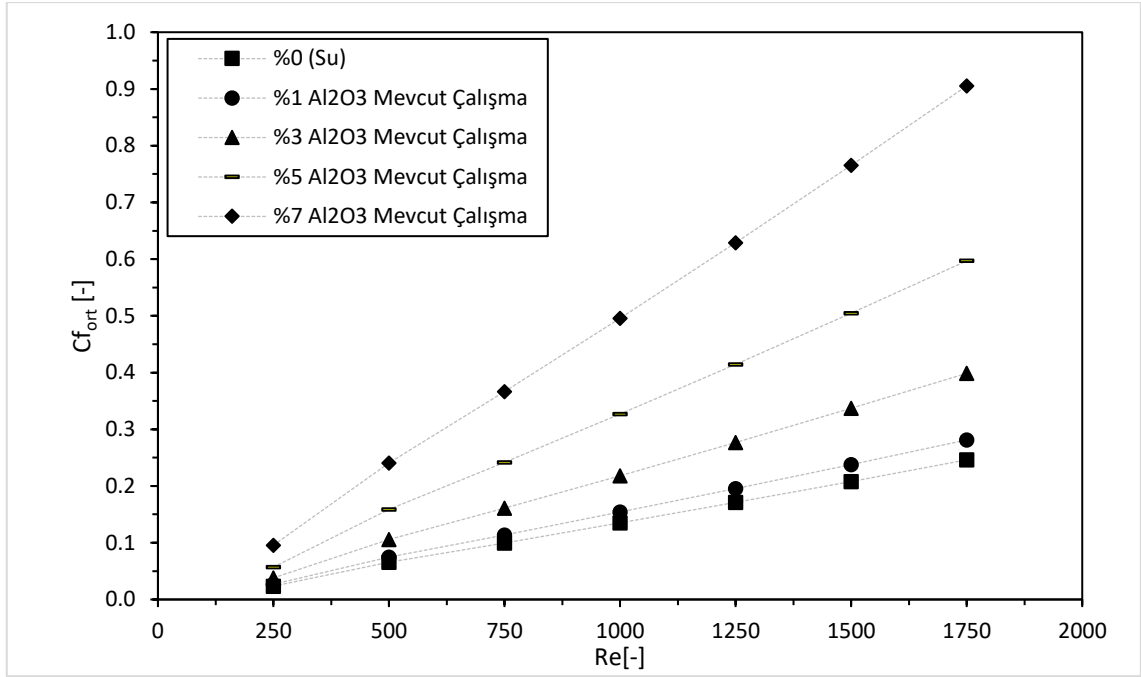


EKLER

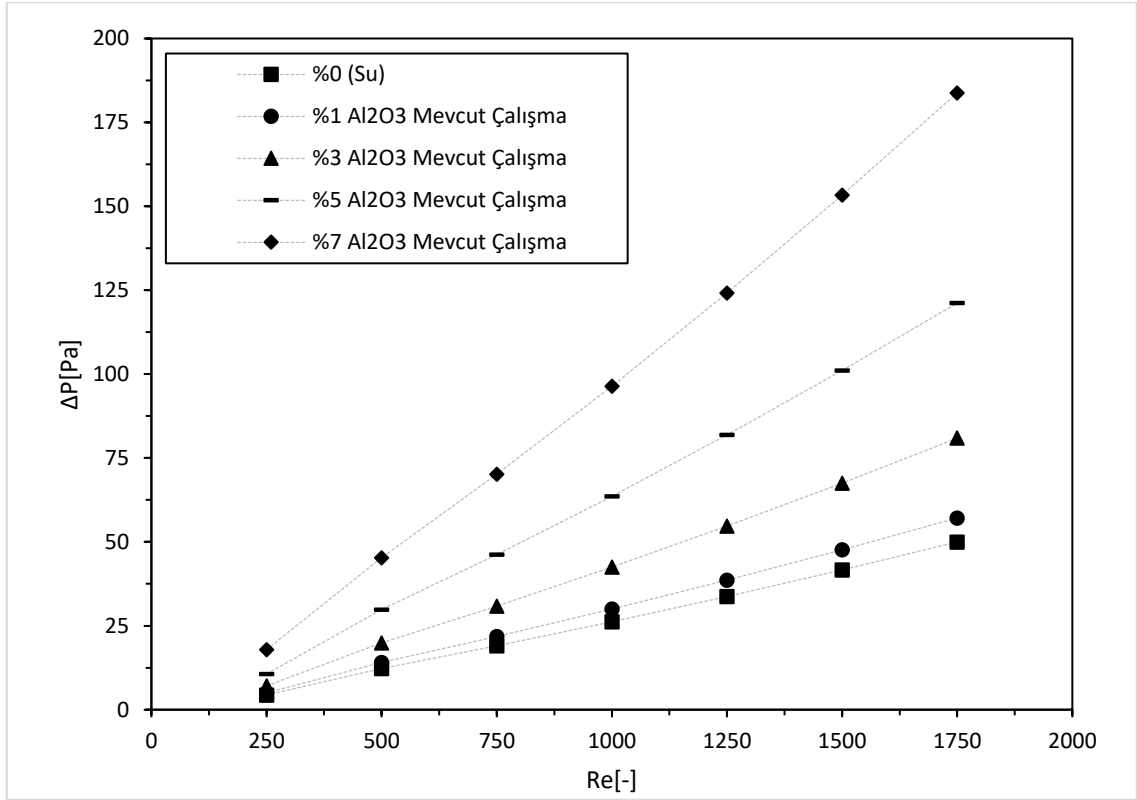
EK-1. Ortalama Isı Transfer Katsayısı (Nanoakışkan Giriş Sıcaklığı 60 C)



EK-2. Ortalama Yüzey Sürtünme Katsayısı (Nanoakışkan Giriş Sıcaklığı 60 C)



EK-3. Basınç Kaybı (Nanoakışkan Giriş Sıcaklığı 60 C)



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0007-1191-0156

Ad Soyad : Ersin AŞKIN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2012-2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakülte, İmalat Mühendisliği
- 2017- Halen, TUSAŞ Motor Sanayii(TEİ), Kıdemli Aerothermal Test Mühendisi

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Aşkın, E., ve Elçioğlu, E. B. (2023) NUMERICAL INVESTIGATION OF HIGH-EFFICIENCY RADIATOR COOLING WITH NANOFLUIDS, Uluslararası Katılımlı 24. Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi (ULIBTK 2023), 6-8 Eylül 2023, Kabul Edildi.